

PRZEGLĄD KOLEJOWY

elektrotechniczny

ROK XXIV • WRZESIEŃ 1977 • NR 9

-
- 241 EDWARD MAZUR — Koncepcja systemu teleinformatycznego PKP ● Konzeption eines Ferninformatik-Systems bei der PKP ● Conception of a remote computer science system ● Основы телеинформационной Железных Дорог
-
- 245 ANDRZEJ ZAJĄCZKOWSKI — Metody techniczne zmiany czasów działania przekaźników elektromagnetycznych stosowanych w urządzeniach zrk ● Technische Verfahren hinsichtlich des Einsatzzeiten-Wechsels in den bei der Zugsicherungstechnik verwendbaren magnetischen Relais ● Technical methods for electromagnetic relays operating time changes applicable in train traffic control arrangements ● Технические методы изменения времени действия электромагнитических реле применяемых в установках СДБ
-
- 252 MAŁGORZATA WRÓBLEWSKA, STANISŁAWA RYSZKA — Badania eksploatacyjne elementów izolacyjnych styków torowych z tworzyw termoplastycznych ● Betriebsuntersuchungen von Isolierteilen aus thermoplastischen Kunststoffen in Schienenstößen ● Operational tests of thermoplastic isolating parts in rail joints ● Эксплуатационные испытания изоляционных элементов рельсовых стыков из термопластических пластмасс
-
- 257 MIECZYŚŁAW BARYLUK — Analiza częstotliwościowa dławika torowego ● Frequenzanalyse des Impedanzverbinders ● Frequency analysis of an impedance bond ● Частотный анализ путевого дросселя
-
- 260 KAZIMIERZ CIANCIARA — Złącze p-n źródło sukcesów elektroniki półprzewodników ● p-n Verbindung-Quelle der Erfolge in der Halbleiter-Elektronik ● p-n junction — source of success in the semiconductor electronics ● p-n источник достижений полупроводниковой электроники
-

przegląd kolejowy ELEKTROTECHNICZNY



MIESIĘCZNIK TECHNICZNO-GOSPODARCZY

ROK XXIV

WRZESIEŃ 1977

NR 9

mgr inż. Edward Mazur

COIK

UKD:656.254.14/.15:681.3.004.14] (438)

Koncepcja systemu telefonicznego PKP

Podobnie jak w wielu innych dziedzinach działalności, również w transporcie kolejowym zastosowanie informatyki może przynieść liczne korzyści. W pierwszym rzędzie wymienić tutaj należy usprawnienie funkcji dyspozytorskich, które mają podstawowe znaczenie w przewozach, a następnie usprawnienie innych funkcji, jak np. zarządzanie gospodarką materiałową, kadrową, rozliczenia finansowe itp. Przestrzenne rozproszenie agend kolejowych na obszarze całego kraju jest powodem, że w warunkach informatyki kolejowej obok środków przetwarzania danych (komputery systemowe) równorzędną znaczenie mają środki przekazywania danych (terminale, urządzenia teletransmisyjne i komutacyjne). Środki przetwarzania i przekazywania danych tworzą łącznie tzw. kolejowy system teleinformatyczny.

Określenie koncepcji takiego systemu dla PKP było przedmiotem „Studium koncepcyjnego łączności telegraficznej PKP”, opracowanego w Instytucie Teleelektroniki Politechniki Warszawskiej w roku 1976. Koncepcja zawarta w „Studium” opracowana została na podstawie przeglądu rozwiązań różnych systemów teleinformatycznych, kolejowych i niekolejowych, zrealizowanych w rozwiniętych technicznie krajach świata. Niniejszy artykuł ma za zadanie szerzej spopularyzowanie tej koncepcji, gdyż wydaje się celowe, aby przy realizacji wielu częściowych systemów informatycznych w różnych służbach PKP, co obecnie ma miejsce, mieć przed oczyma obraz systemu, który w przyszłości ujmie całościowo dotychczasowe działania.

Składowe systemy informatyczne

„Studium” zajmuje się w zasadzie częścią telekomunikacyjną systemu teleinformatycznego i nie przesądza o tym, kiedy poszczególne systemy informatyczne powinny być uruchomione, ani też jaka będzie lokalizacja niektórych komputerów systemowych, tj. komputerów centralnych przetwarzających dane dla potrzeb poszczególnych systemów informatycznych.

Przewiduje się, że w skład systemu teleinformatycznego PKP wchodzić będą następujące składowe systemy informatyczne:

Systemy kierowania procesem przewozowym, w których pracować będą według założeń dwa główne ośrodki obliczeniowe — w Warszawie dla realizacji zadań obliczeniowych całej sieci PKP i w Katowicach — dla potrzeb okręgu śląskiego. W systemach tych znajdować się będzie także pewna liczba ośrodków zlokalizowanych w siedzibach DOKP i na poszczególnych węzłach (stacjach rozrządowych).

System kierowania przewozami kontenerowymi będzie dwupoziomowy i będzie się składał z następujących układów:

- układu kierowania kontenerowymi przewozami kolejowymi o zasięgu ogólnokrajowym z centralnym ośrodkiem obliczeniowym w Warszawie powiązany ze stacjami kontenerowymi,
- układów kierowania pracą stacji kontenerowych i dowozem samochodowym w rejonach tych stacji, działających w oparciu o rejonowe ośrodki obliczeniowe zlokalizowane przy głównych stacjach kontenerowych.

Systemy zarządzania

Przewiduje się zrealizowanie następujących systemów:

- zarządzanie gospodarką materiałową,
- statystyka pracy taboru kolejowego,
- zarządzanie kadrami i sporządzanie list płac,
- obliczanie i rozliczanie należności przewozowych,
- zarządzanie wagonami towarowymi.

Informatyczny system rezerwacji miejsc, który składać się będzie z centrum obliczeniowego powiązanego z siecią terminali rozmieszczonych na terenie całego kraju. System zawierać będzie 300—400 terminali.

Strumienie informacji przekazywane w poszczególnych systemach informatycznych są zróżnicowane pod względem wielkości oraz uwarunkowania czasowego (stopnia pilności przetwarzania). Przetwarzanie informacji na bieżąco będzie miało miejsce w systemach kierowania procesem przewozowym, informatycznym systemie rezerwacji miejsc i systemie kierowania przewozami kontenerowymi. W pierwszych dwóch przypadkach będą to duże strumienie informacji, a w trzecim — strumienie średniej wielkości. W systemach zarządzania zastosowane będzie przede wszystkim zdalne partiowe przetwarzanie informacji. Stopień pilności przetwarzania jest tu niewielki, a strumienie informacji będą średniej wielkości.

Sieć transmisji danych

Zadaniem sieci transmisji danych w systemie teleinformatycznym PKP jest zapewnienie dwukierunkowego przepływu informacji w relacjach pomiędzy komputerami systemowymi i terminalami (funkcja zasadnicza), w relacjach pomiędzy poszczególnymi komputerami systemowymi oraz w relacjach pomiędzy określonymi terminalami.

Sieć transmisji danych powinna być (1) wspólna dla wszystkich systemów informatycznych, (2) modularna w celu łatwego rozwoju sieci oraz jej dopasowania do przyszłych potrzeb, (3) w możliwie dużym stopniu niezawodna (4) powinna zapewniać wymaganą wierność transmisji oraz (5) powinna umożliwiać współpracę różnych komputerów z różnymi typami terminali.

W celu spełnienia wymienionych warunków przyjęto koncepcję sieci dwupoziomowej, tzw. sieci magistralnej na wyższym poziomie i sieci dostawczej na niższym. Sieć magistralna działać będzie na zasadzie komutacji pakietów, optymalnej w obecnym stanie techniki dla zadań spełnianych przez system teleinformatyczny PKP i dla wielkości strumieni informacji występujących w tym systemie. Sieć dostawcza działa na zasadzie komutacji wiadomości, a funkcje komutacyjne spełniają koncentratory. Koncepcja systemu teleinformatycznego PKP z geograficznym i ilościowym rozmieszczeniem elementów przedstawiona jest na rysunku 1.

Sieć magistralna spełniać będzie funkcje transportu informacji pomiędzy siecią dostawczą i komputerami systemowymi oraz pomiędzy samymi komputerami systemowymi, a ściślej pomiędzy odpowiednimi modułami komputerów systemowych oraz koncentratorów i terminali inteligentnych znajdujących się w sieci dostawczej, które to moduły **nazwać można** stacjami transportu. W skład sieci magistralnej wejdą węzły sieci i łączące je łącza telekomunikacyjne. Węzły (nazywane też centralami węzłowymi) połączone będą w układzie wieloboku przekątnymi, dzięki czemu umożliwi się tworzenie dróg obejściowych, co zape-

wni uzyskanie wymaganej dysponowalności sieci. Na marginesie warto zauważyć, że łącza są najbardziej zawodnym elementem sieci transmisji danych. Z braku odpowiednich danych statystycznych dla sieci łączności PKP można przykładowo podać, że wartości dysponowalności łączy odniesione do odcinka o długości 1 km wynoszą $(0,92)^{0,001}$ dla DB, $(0,98)^{0,001}$ dla SNCF i $(0,99)^{0,001}$ dla CFF. W pierwszych dwóch przypadkach dane dotyczą łączy telefonicznych, a w trzecim — łączy telegraficznych.

Działanie sieci magistralnej będzie nadzorowane i kierowane automatycznie przez ośrodek kontroli wyposażony w komputer podobnej wielkości (lub nawet identyczny), co zastosowane w węzłach sieci.

W węzłach sieci zastosowane zostaną minikomputery o pamięci operacyjnej rzędu 16—32 K słów 16 bitowych ($K = 1024$) nie posiadające oprócz prostego monitora (np. dalekopisu) żadnych urządzeń zewnętrznych. Tak skromne wyposażenie gwarantuje wysoką niezawodność działania i nie ma potrzeby tworzenia dualnych zestawów komputerowych. Ważniejsze komputery systemowe oraz koncentratory będą miały możliwość przyłączenia do dwóch różnych węzłów.

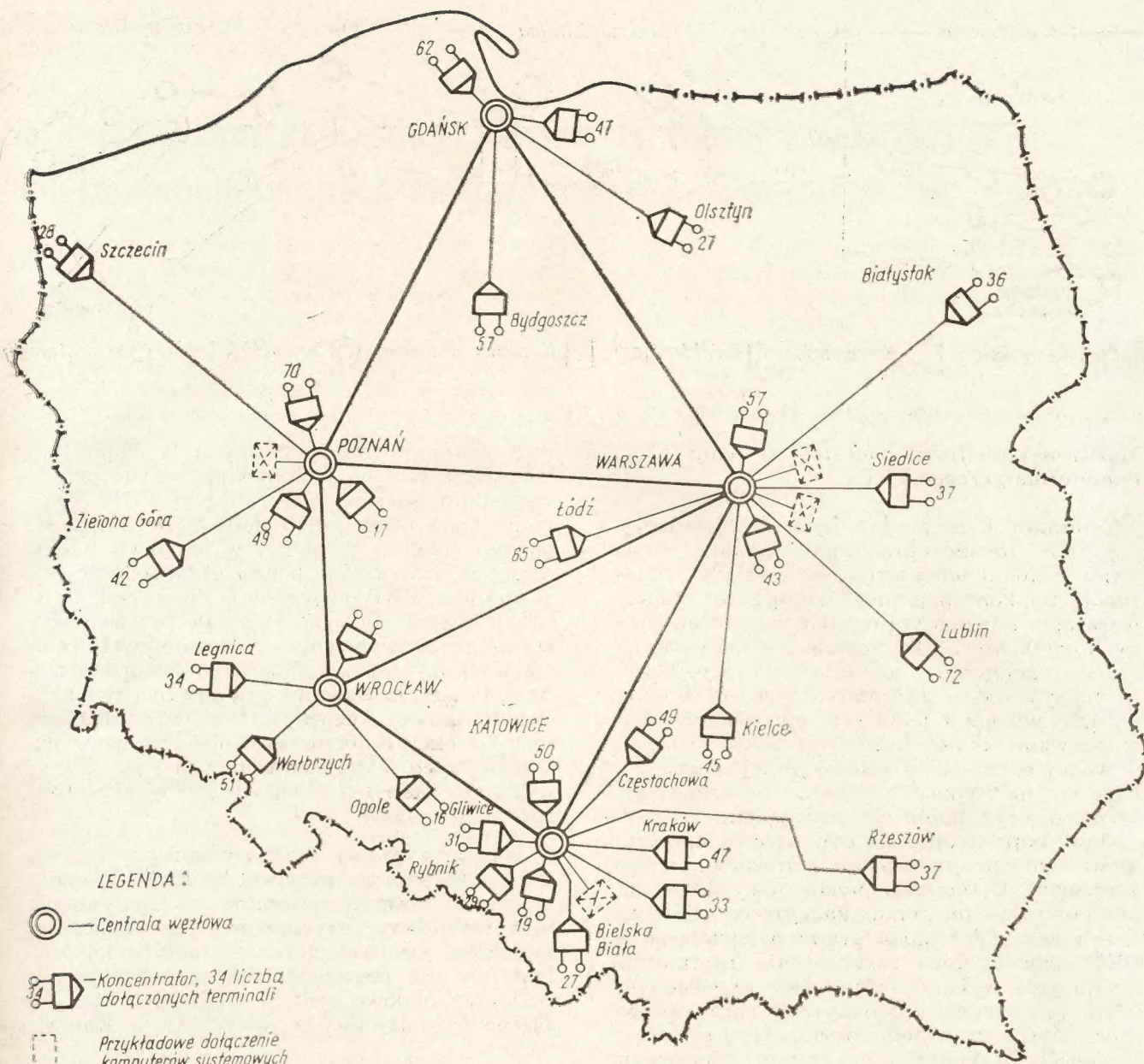
Na poziomie sieci magistralnej system teleinformatyczny PKP przyłączony zostanie do międzynarodowej, kolejowej sieci transmisji danych „HERMES”, opracowanej w ramach Międzynarodowego Związku Kolejowego (Union Internationale des Chemins de fer) z siedzibą w Paryżu. Dokonane to będzie przez przyłączenie dowolnego w zasadzie węzła sieci magistralnej do węzła sieci „HERMES” zlokalizowanego na terenie PKP.

Sieć dostawcza umożliwi przyłączenie do sieci magistralnej licznych abonentów rozmieszczonych na obszarze całego kraju. W skład sieci dostawczej wejdą terminale i koncentratory oraz łącza. Funkcjonalnie sieć dostawcza zapewni optymalne wykorzystanie łączy oraz doprowadzi wszystkie informacje napływające od różnych terminali do jednolitej postaci pakietu.

Koncentratory, ze względu na spełniane funkcje, będą stosunkowo dużymi komputerami zaopatrzonymi w pamięci masowe. Będą one musiały być wyposażone w autowzywaki do współpracy z komutowaną siecią telefoniczną i telegraficzną. W celu zapewnienia odpowiedniej niezawodności działania zastosowane będą podwójne zestawy komputerowe.

Terminale spełniać będą w kompleksie teleinformatycznym PKP różne zadania w zależności od systemu informatycznego, do jakiego będą włączone i w zależności od ich lokalizacji. Najwłaściwszym rozwiązaniem wydaje się zastosowanie terminali uniwersalnych o strukturze modularnej, z modułami dobieranymi w zestawy odpowiednio do każdego zastosowania.

Klasyfikacja łączy telekomunikacyjnych systemu teleinformatycznego PKP przedstawiona jest na rysunku 2.



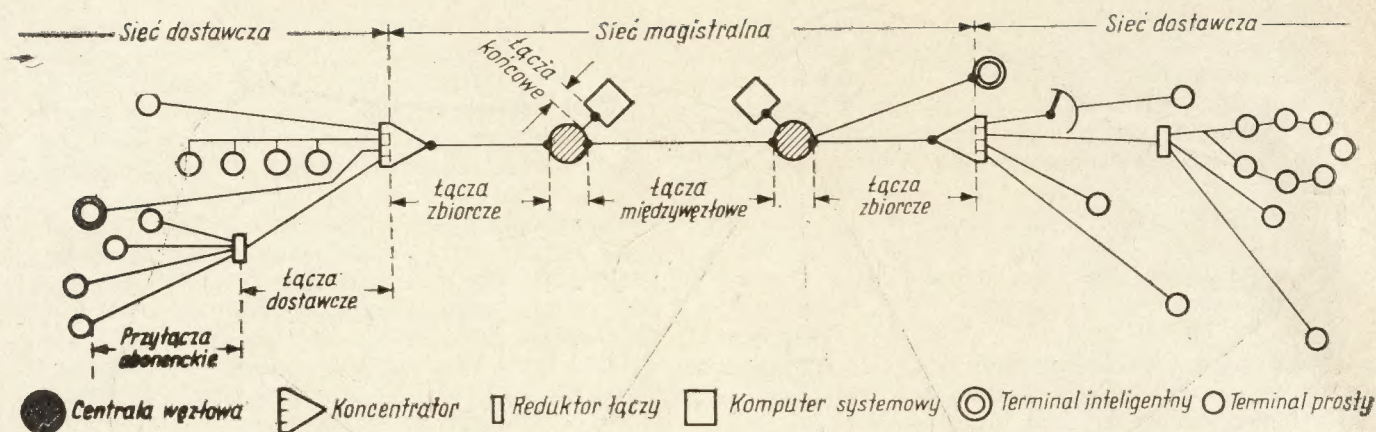
Rys. 1. Koncepcja systemu teleinformatycznego PKP

Łącza międzywęzłowe będą trwałymi łączami dwuplexowymi wydzielonymi z sieci telefonicznej, zapewniającymi w pierwszej fazie średnią szybkość transmisji rzędu 4800 bit/s. W dalszej perspektywie należy liczyć się z przejściem na duże szybkości rzędu 48 kbit/s, które wymagać będą kanałów szerokopasmowych (dla grupy pierwotnej telefonii nośnej) lub łączy PCM.

Łącza zbiorcze, podobnie jak łącza międzywęzłowe, będą trwałymi łączami dwuplexowymi typu telefonicznego, zapewniającymi szybkość transmisji rzędu 4800 bit/s. Łącza te powinny być stosunkowo szybkie, aby nie powstawały nadmierne długie kolejki pakietów na ich wejściach, co z kolei wymagałoby rezerwowania dla tego celu dużych obszarów pamięci komputerów. Z tego samego względu również

łącza końcowe (pomiędzy węzłami sieci magistralnej i komputerami systemowymi) powinny być dwuplexowymi, szybkimi łączami szerokopasmowymi. W sieci dostawczej będą znajdować się zapasowe łącza zbiorcze uruchamiane w czasie uszkodzenia łączy zasadniczych.

Nie przewiduje się rezerwowych łączy dostawczych i przyłączy abonenckich. Łącza te będą półduplexowe, typu telefonicznego lub telegraficznego, trwałe lub komutowane w zależności od rodzajów terminali i wielkości strumieni ruchu. W zasadzie terminale o większych strumieniach ruchu będą przyłączone do koncentratorów trwałymi przyłączami abonenckimi, natomiast terminale generujące małe strumienie ruchu połączone będą z koncentratorami za pośrednictwem reduktorów i łączy dostawczych albo komutowanej sieci telefonicznej lub telegraficznej.



Rys. 2. Ideowa struktura systemu teletinformatycznego PKP

Możliwości realizacji koncepcji systemu teletinformatycznego PKP

„Studium koncepcyjne łączności teledacyjnej PKP” zostało opracowane dla docelowego stanu systemu teletinformatycznego PKP. Realizacja tej koncepcji musi odpowiadać etapom wdrażania informatyki (systemów informatycznych użytkowych). Dotychczas nie ma w resorcie szczegółowego programu realizacji kolejnych systemów informatycznych dla PKP. Ogólnie wiadomo jakie systemy powinny być opracowane, mniej jasny jest zakres przewidywanej realizacji, a jeszcze mniej można powiedzieć na temat terminów tej realizacji. Istotnym czynnikiem ograniczającym jest także brak odpowiedniego i odpowiednio oprogramowanego sprzętu informatycznego na rynku krajowym. Dotyczy to przede wszystkim tzw. komputerów telekomunikacyjnych. Pomimo braku szczegółowego programu pojawiają się na PKP coraz to nowe zastosowania informatyki obejmujące wycinki działalności przedsiębiorstwa, np. system automatyzacji sprawozdawczości dyspozytorskiej, informacyjny system o pociągach wahałowych, system kierowania przewozami kontenerowymi i inne.

W istniejącej sytuacji możliwe jest określenie zasad realizacji sieci transmisji danych PKP, lecz tylko w sposób ogólny określić można ramy czasowe dla poszczególnych etapów realizacji. Wyróżnić można następujące, przybliżone etapy realizacji sieci transmisji danych:

Etap wstępny trwający już obecnie i obejmujący zapewnienie transmisji danych dla istniejących i tworzonych w najbliższej przysz-

łości systemów informatycznych. W etapie tym transmisja danych dokonywana będzie przede wszystkim po sieci telegraficznej PKP. Tworzone będą także pojedyncze łącza transmisji danych średniej szybkości w kanałach telefonicznych. Zwiększana będzie niezawodność sieci łączności PKP odpowiednio do potrzeb transmisji danych. Polegać to będzie przede wszystkim na zastępowaniu w ważniejszych relacjach linii telekomunikacyjnych napowietrznych liniami kablowymi, tak aby możliwe było dojście liniami kablowymi do wszystkich siedzib Dyrekcji Rejonowych Kolei Państwowych, ważniejszych stacji rozrządowych i stacji granicznych. Etap ten trwać będzie w przybliżeniu do roku 1980.

Etap przejściowy, trwający mniej więcej do roku 1990, który obejmował będzie — w miarę tworzenia nowych systemów informatycznych oraz rozbudowy przestrzennej i funkcjonalnej systemów już istniejących — budowę koncentratorów dla poszczególnych zespołów terminali oraz budowę central węzłowych sieci, w pierwszej kolejności w Warszawie i Katowicach.

Etap końcowy (po roku 1990), w którym ukształtowana zostanie ostateczna postać sieci magistralnej z pięcioma centralami węzłowymi. Rozbudowa systemu teletinformatycznego polegać będzie na modernizacji zastosowanego sprzętu, zwiększaniu liczby terminali, powiększaniu szybkości transmisji, zwiększaniu niezawodności sieci, ewentualnym włączaniu do sieci nowych systemów informatycznych — odpowiednio do pojawiających się potrzeb.

Zawiadamy naszych Czytelników, że z dniem 1 stycznia 1978 r. zostaje zmieniona nazwa naszego czasopisma na „Automatyka kolejowa”. Cena nowego miesięcznika wynosić będzie 10 zł, kwartalnie 30 zł, półrocznie 60 zł, rocznie 120 zł.

Metody techniczne zmiany czasów działania przekładników elektromagnetycznych stosowanych w urządzeniach zrk

Funkcje, które powierzane są przekładnikom stosowanym w urządzeniach zabezpieczenia ruchu kolejowego często wymagają uzyskania odpowiedniego czasu ich zadziałania dla spowodowania spodziewanego efektu realizacji określonego układu.

Jak wiadomo, przekładnik może znajdować się w jednym z 2 stanów stabilnych to jest w stanie spoczynku (stan odwzbudzenia) lub w stanie pracy (stan wzbudzenia) albo też podczas krótkotrwałego stanu przejściowego, którego długość trwania określana jest jako czas działania przekładnika.

W praktyce, często zachodzi konieczność zmiany tego parametru w kierunku wydłużenia czasu wzbudzenia lub odwzbudzenia przekładnika. Zmiany czasów działania przekładnika realizowane są różnymi metodami, a omówienie ich jest przedmiotem niniejszego artykułu.

Wzbudzenie się przekładnika

Pod wpływem przyłożonego napięcia, w uzwojeniu przekładnika zaczyna płynąć prąd, którego wartość powoli narasta. Szybkiemu wzrostowi prądu przeciwstawia się siła elektromotoryczna samoindukcji. Siła ta powstaje na skutek istnienia określonej indukcyjności uzwojenia przez co następuje opóźnienie osiągnięcia maksymalnej wartości prądu ustalonego (I_u). Wartość I_u równa się wartości znamionowej dla danego przekładnika.

Szybkość narastania prądu w uzwojeniu przekładnika zależy od stałej czasu τ , której wartość określić można z zależności:

$$\tau = \frac{L}{R} \quad]s[$$

gdzie:

L — indukcyjność w H
 R — rezystancja w Ω

Zależność ta jest odniesiona do określonej wartości napięcia zasilania, która powinna mieć wartość znamionową U_n .

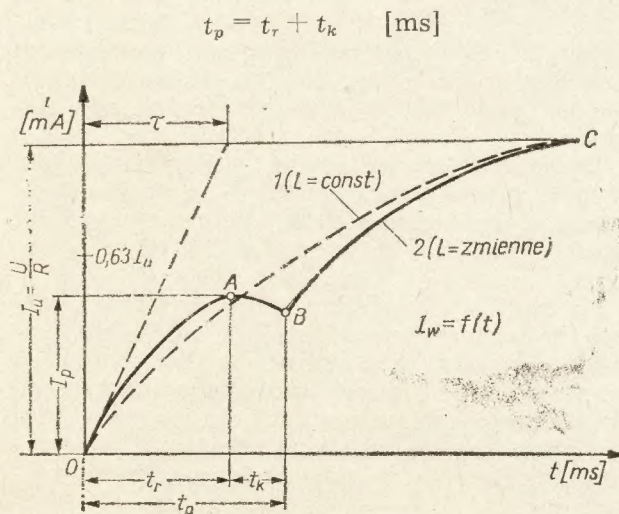
Im mniejsza jest wartość τ , tym krócej trwa narastanie prądu w uzwojeniu przekładnika, a więc tym krótszy jest czas przyciągania kotwicy, przy czym po upływie czasu równego stałej τ , prąd wzrastający w uzwojeniu osiąga wartość równą 63% wartości prądu ustalonego. Jeżeli indukcyjność przekładnika nie ulegałaby zmianie wskutek np. unieruchomienia kotwicy, wówczas wzrost prądu w czasie ($I_w = f(t)$) miałby przebieg wg krzywej 1 (rys. 1);

w praktyce jednak, ponieważ podczas ruchu kotwicy indukcyjność przekładnika zmienia się, rzeczywiste narastanie natężenia prądu przebiega według krzywej 2.

Na wykresie tym punkt A przedstawia wartość prądu przyciągania kotwicy — I_p (prąd graniczny wzbudzenia), którą to wartość osiągnięto dla danego przekładnika o stałej czasu τ . Dla zapewnienia prawidłowej pracy przekładnika, wartość prądu przyciągania I_p powinna być mniejsza od $0,63 I_u$.

Wskutek przyciągania kotwicy, zmniejszyła się do minimum robocza szczelina powietrzna, a tym samym zmalała reluktancja przekładnika (opór magnetyczny) co jest przyczyną naglego wzrostu strumienia magnetycznego, który przeciwstawia się wzrostowi prądu wzbudzenia. Powoduje to pewne zmniejszenie wartości prądu w uzwojeniu przekładnika do wielkości oznaczonej na wykresie literą B. Teraz, ze względu na ustalenie się parametrów obwodu magnetycznego, natężenie prądu dalej wzrasta wg krzywej B—C aż do wartości ustalonej, odpowiadającej wartości znamionowej.

Z wykresu wynika, że całkowity czas przyciągania kotwicy (t_p) liczony jako okres czasu od chwili rozpoczęcia narastania strumienia w obwodzie magnetycznym przekładnika do chwili zakończenia ruchu kotwicy składa się z czasu rozruchu (t_r) trwającego od chwili przyłączenia zasilania do uzwojenia (pkt 0) do chwili rozpoczęcia ruchu kotwicy (pkt A), oraz czasu przelotu kotwicy (t_k) — trwającego do momentu zakończenia ruchu kotwicy, czyli od punktu A do punktu B wykresu.



Rys. 1. Krzywe wzrostu prądu wzbudzenia w uzwojeniu przekładnika

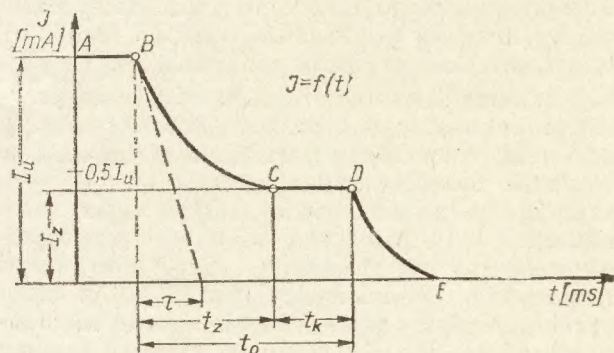
Dalsze narastanie prądu w uzwojeniu przekąźnika, aż do wartości I_u , nie ma już znaczenia dla czasów jego działania.

W praktyce, ze względu na niewielki błąd, czas przyciągania określić można i mierzy się jako okres czasu liczony od chwili rozpoczęcia narastania prądu w uzwojeniu (zamknięcie obwodu prądu zasilania) do chwili zmiany styczności określonego zestyku przekąźnika, (np. zwarcie zestyku zwiernego), który unieruchamia miernik czasu.

Dla uzyskania krótkiego czasu przyciągania, prąd przyciągania kotwicy powinien mieć małą wartość, a więc punkt A na wykresie powinien znajdować się jak najniżej i najbliżej osi pionowej. Aby to uzyskać przekąźnik taki powinien mieć niewielkie obciążenie (małą liczbę zestyków o słabym docisku styków), a jego kotwica — niewielki skok, czyli wąską szczelinę roboczą.

Odwzbudzenie się przekąźnika

Czas zwalniania kotwicy przekąźnika liczy się od chwili odłączenia napięcia od jego uzwojenia, czyli od chwili rozpoczęcia zanikania strumienia magnetycznego w obwodzie magnetycznym przekąźnika — do chwili zakończenia ruchu powrotnego kotwicy. Krzywą zmian prądu podczas zwalniania kotwicy przekąźnika przedstawiono na rysunku 2. Jak widać z wy-



Rys. 2. Krzywa zmian prądu odzwzbudzenia w uzwojeniu przekąźnika

kresu, zanik prądu w uzwojeniu następuje z pewnym opóźnieniem, którego wielkość podobnie jak przy przyciąganiu kotwicy określa stała czasu τ .

Opóźnienie zaniku prądu spowodowane jest w myśl prawa Lenza opóźnieniem zaniku strumienia magnetycznego, który podtrzymuje przez jakiś jeszcze czas kotwicę w stanie przyciągniętym.

Na skutek siły ciężkości lub działania sprężyn, kotwica zacznie oddalać się od rdzenia, powodując przez to zmianę wartości indukcji oraz powstanie napięcia, pod wpływem którego część energii oddawana jest polu magnetycznemu przez co, jak widać na odcinku C—D wykresu, natężenie prądu pozostaje prawie niezmienne.

Po zakończeniu ruchu kotwicy (punkt D), następuje szybki i całkowity zanik prądu (odcinek D—E wykresu).

Czas zwalniania (odpadania) kotwicy t_o podobnie jak czas przyciągania, składa się z sumy dwóch czasów: czasu zaniku prądu od wartości ustalonej (punkt B wykresu) do wartości odpowiadającej prądowi zwalniania t_z (punkt C) oraz czasu trwania ruchu zwalnianej kotwicy (t_k) to jest od chwili początku ruchu (punkt C) do chwili zamknięcia zestyków rozwiernych (punkt D).

$$t_o = t_z + t_k \quad [\text{ms}]$$

Czas wzbudzania i odzwzudzenia się poszczególnych rodzajów i typów przekąźników jest różny. Na przykład:

- przekąźniki teletechniczne zwykłe, neutralne, włączone w proste obwody, przeciętnie obciążone, mają czasy wzbudzenia zawarte w granicach od 10 do 25 ms, przy czasach odzwzudzenia w granicach 8 do 15 ms. Czas przelotu kotwicy takiego przekąźnika wynosi 3 do 6 ms;
- przekąźniki zabezpieczeniowe ze względu na czasy działania należą przeważnie do przekąźników wolnodziałających, a nawet opóźnionych.

Np. przekąźnik	IRG: $t_p = 300$ ms	$t_o = 60$ ms
	IRC: $t_p = 720$ ms	$t_o = 100$ ms
	IRB: $t_p = 900$ ms	$t_o = 80$ ms

REALIZACJA ZMIANY CZASÓW DZIAŁANIA PRZEKĄŹNIKÓW

Czasy wzbudzania i odzwzudzenia przekąźników zależą od różnych czynników, na które oddziałując uzyskuje się możliwość skrócenia lub wydłużenia czasu pracy przekąźnika. Zmiany czasów działania przekąźnika można uzyskać różnymi metodami; należy jednak pamiętać, że bardzo często wydłużając celowo np. czas odzwzudzenia, zmienia się również niezamierzanie czas wzbudzania przekąźnika i odwrotnie.

Zmiana czasów działania — przez zmianę konstrukcyjną

Opóźnienie działania kotwicy przekąźnika uzyskiwać można w samym przekąźniku metodą wydłużenia lub skrócenia czasu narastania strumienia magnetycznego poprzez zmianę:

- skoku kotwicy (szczelina robocza),
- wysokości przekładki antymagnetycznej,
- rodzaju materiału użytego na obwód magnetyczny,
- zastosowania tulei lub pierścieni opóźniających,
- obciążenia sprężynami stykowymi (liczba i wielkość nacisków).

Zwiększenie skoku, a więc i szczeliny roboczej wpływa na wydłużenie czasu wzbudzenia się przekąźnika. Zwiększenie wielkości prze-

kładki antymagnetycznej skraca czas zwalniania kotwicy. Przy zwiększaniu przekładki, musi być jednak również zwiększony skok kotwicy co powoduje wzrost mocy potrzebnej do przyciągnięcia kotwicy.

Rdzenie z materiałów charakteryzujących się znaczną rezystancją dla prądów wirowych i znaczną przenikalnością magnetyczną (np. stop żelazo-nikiel lub permalój) pozwalają na przyspieszenie działania przekąźnika zarówno przy wzbudzaniu jak i odwzbudzaniu się.

Inna metoda uzyskania opóźnienia działania przekąźnika to nakładanie na jego rdzeń tulei lub pierścieni miedzianych tworzących jakby zwarty zwoj o dobrej przewodności, a więc małej rezystancji. W zwartym zwoju, zmiany strumienia magnetycznego indukują prąd, który wywołuje dodatkowy strumień magnetyczny podtrzymujący zanikający strumień główny, co jest powodem wydłużenia czasów działania kotwicy.

I tak np. — tuleja miedziana podłużna, umieszczona pod uzwojeniem na całej długości, bezpośrednio na rdzeniu (rys. 3a), stosowana najczęściej w przekąźnikach teletechnicznych, nieznacznie wydłuża czas wzbudzenia, natomiast znacznie wydłuża czas odwzbudzenia (do 500 ms — w zależności od grubości tulei).

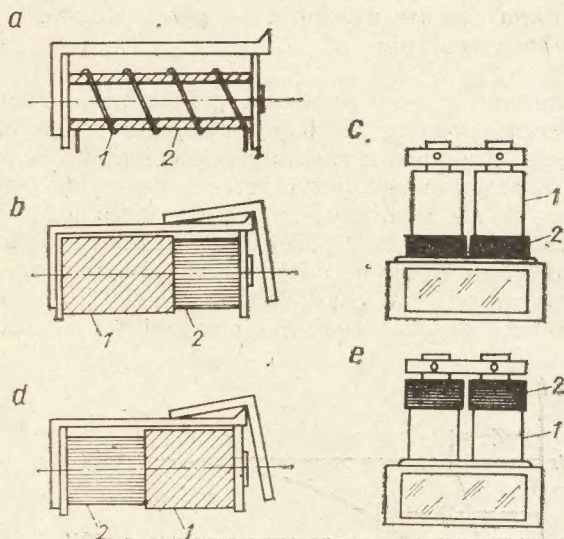
Tuleje miedziane w kształcie pełnego bębna lub tuleje składające się z wąskich kilku milimetrowych krążków (dzięki czemu można regulować długość całkowitą tulei) umieszczone obok uzwojenia, od strony jarzma lub kotwicy, albo też z obu stron jednocześnie, zmieniają czasy działania w sposób następujący:

- tuleja znajdująca się na końcu rdzenia przy kotwicy (rys. 3 b i c) przede wszystkim wydłuża czas wzbudzenia się przekąźnika (50 — 100 ms), ale jednocześnie wydłuża nieco czas zwolnienia kotwicy. Podczas wzbudzenia, część strumienia magnetycznego zamyka się przez tuleję, a tylko część przechodzi przez kotwicę co zmniejsza siłę działającą na kotwicę i wydłuża czas przyciągnięcia jej do rdzenia. Po przerwaniu obwodu prądu w uzwojeniu, wytworzony w tulei przez prądy wirowe strumień magnetyczny prawie w całości przechodzi przez kotwicę powodując opóźnienie jej zwalniania.

- tuleja umieszczona na rdzeniu od strony jarzma (rys. 3 d, e) znacznie opóźnia zwolnienie kotwicy (300 — 800 ms), ale ma również wpływ na czas wzbudzenia się przekąźnika.

Po wyłączeniu napięcia, wytworzony w tulei przez prądy wirowe strumień magnetyczny, podtrzymuje zanikający strumień główny zamykając się w skróconym przez tuleję obwodzie magnetycznym i opóźniając zwolnienie kotwicy.

Mały wpływ tulei na czas wzbudzenia polega na tym, że prawie cały strumień magnetycz-



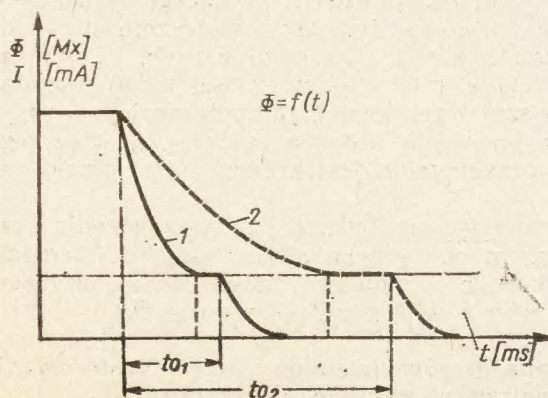
Rys. 3. Metody uzyskania opóźnienia działania przekąźników przez zastosowanie miedzianych tulei lub pierścieni

1 — uzwojenie przekąźnika, 2 — tuleja lub pierścień miedziany

ny pochodzący od prądów wirowych, przeciwdziałający narastaniu strumienia głównego, zamka się z pominięciem kotwicy, jako strumień rozproszenia. Powodem tego jest znaczny opór obwodu magnetycznego przekąźnika przy zwolnionej kotwicy, a także znaczne oddalenie tulei od kotwicy.

Podobny efekt opóźnienia działania przekąźnika uzyskuje się w przypadku zwarcia jego uzwojeń; czas odpadnięcia kotwicy wydłuża się tak jak to przedstawia krzywa 2 na rysunku 4. Krzywa 1 charakteryzuje zanik strumienia magnetycznego w razie przerwy zasilania uzwojenia, a krzywa 2 zanik strumienia podczas zwarcia uzwojenia.

Dalszą zmianę czasów działania uzyskać można, jak już o tym wspomniano przez zwiększenie lub zmniejszenie liczby zestyków przekąźnika i sposobu ich regulacji. Przekąźniki szybko działające muszą mieć małą ilość zestyków, podczas gdy przekąźniki z dużą ilością zestyków, przy „twardej” regulacji ich sprężyn charakteryzują się wydłużonym czasem wzbudzenia się i krótkim czasem odpadania kotwicy.

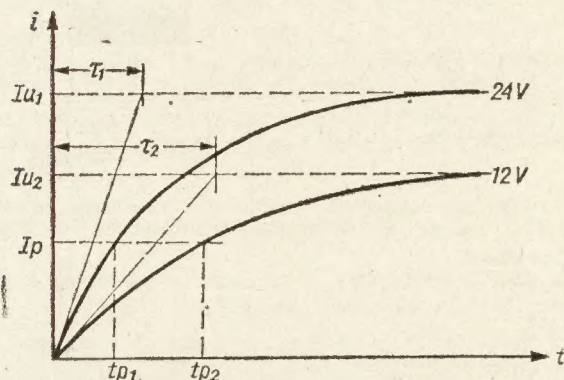


Rys. 4. Krzywe zmian strumienia magnetycznego Φ w funkcji czasu

1 — przerwa w obwodzie zasilania, 2 — zwarcie uzwojenia

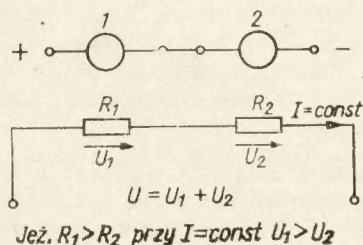
Zmiana czasów działania — przez zmianę sposobu zasilania

Zmianę czasów działania przekaźnika można uzyskać podając na jego uzwojenie różne napięcia: przekaźnik zasilany napięciem wyższym od znamionowego przyciągnie kotwicę szybciej (rys. 5), ale wydłuży się przez to czas jego odwzbudzenia. Jeżeli przekaźnik zasilany będzie napięciem niższym od napięcia znamionowego — to na odwrót; czas wzbudzenia wydłuży się, a skróci się czas zwolnienia kotwicy.



Rys. 5. Wykres czasu przyciągania kotwicy przekaźnika (t_p) w funkcji napięcia zasilającego jego uzwojenia

Gdyby dla porównania włączyć do obwodu dwa podobne przekaźniki o jednakowym wypełnieniu cewki, lecz o różnej ilości zwojów, a tym samym o różnej rezystancji uzwojen (rys. 6) to przy połączeniu szeregowym obu



Rys. 6. Porównanie czasów wzbudzenia dwóch przekaźników połączonych szeregowo $t_{p1} < t_{p2}$

przekaźników, przekaźnik o większej ilości zwoi, a tym samym o większej oporności ($R_1 > R_2$), zgodnie z rozkładem napięć, na swym uzwojeniu będzie miał wyższe napięcie (U_1). Przy stałej wartości prądu (I) płynącego przez oba przekaźniki prąd ten jest dostatecznie duży, aby wzbudzić kotwicę każdego z nich. Ponieważ przekaźnik 1 (o większej ilości zwoi) wymaga mniejszej wartości AZ (amperozwoje) — przyciąga on swoją kotwicę szybciej, a więc jego czas przyciągania jest krótszy od t_p przekaźnika 2.

Rozważając analogicznie, przy połączeniu równoległym obu przekaźników wcześniej zadziała przekaźnik o mniejszej ilości zwoi (mniejszej R , a więc o większym poborze prądu).

Zmiana czasów działania przez zastosowanie zewnętrznych układów elektrycznych

W praktyce, zmianę czasów działania przekaźnika uzyskać można również przez stosowa-

nie odpowiednich układów elektrycznych, w skład których wchodzi takie podstawowe elementy, jak rezystory, kondensatory, prostowniki i indukcyjności.

Najdłuższe czasy działania uzyskuje się w układach z kondensatorami elektrolitycznymi o dużej pojemności, przy czym czasy przyciągania kotwicy mogą wynosić kilka sekund, a czasy zwalniania kotwicy nawet do kilkunastu sekund. Wydłużenie czasu odwzbudzenia jest o wiele łatwiejsze do uzyskania niż opóźnienie przekaźnika na przyciągnięcie kotwicy.

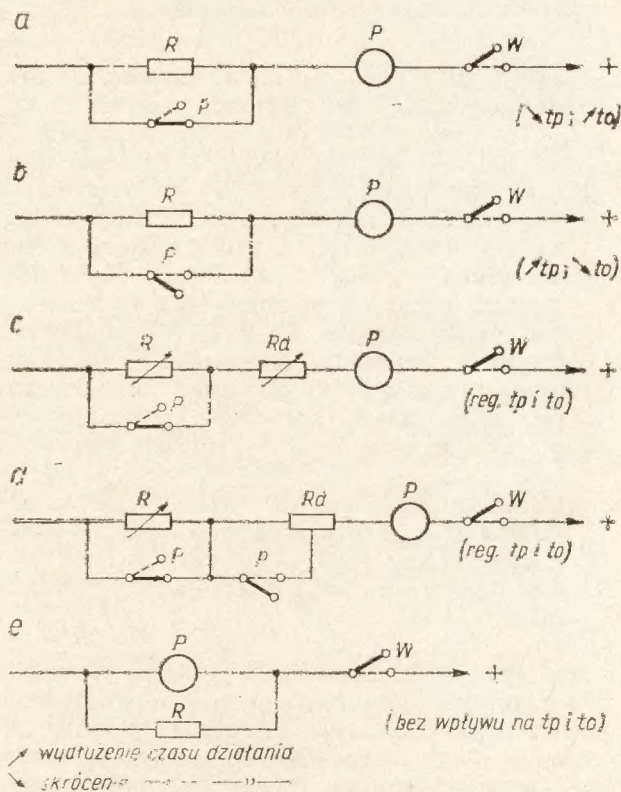
Układy elektryczne jednoelementowe

Zmiana czasów działania przekaźnika przy współpracy z rezystorem (R)

Włączenie szeregowo rezystora w obwód przekaźnika wpływa na zmianę wartości natężenia prądu płynącego przez jego uzwojenie, a co za tym idzie na zmianę stałej czasowej τ , która jak wiadomo wpływa na wartości czasów działania (wydłużenie czasów przyciągania, skrócenie odwzbudzenia) — porównaj p. B. rys. 5.

Dla uzyskania regulacji czasów działania przekaźnika wykorzystuje się np. możliwość odpowiedniego włączania lub wyłączania (zwierania) albo też regulacji wartości tego rezystora własnym lub obcym zestykiem przekaźnika (rys. 7).

W układzie przedstawionym np. na rysunku 7a wykorzystanie własnego zestyku przekaźnika powoduje, że w chwili zamknięcia obwo-



Rys. 7. Wpływ sposobu włączenia rezystancji (R) na czas działania przekaźnika

a-d — połączenie szeregowe, e — połączenie równoległe

du (wył. W), przez uzwojenie przekątnika po-
płyńie większy prąd wzbudzenia co skróci czas
przyciągania kotwicy. Wzbudzony przekątnik
rozwiiera bocznik rezystora co ogranicza war-
tość prądu płynącego w obwodzie. Przy od-
wzbudzaniu, włączony w szereg z przekątni-
kiem rezystor, wydłuża czas zwolnienia kotwi-
cy.

Zestyk zwierny w układzie jak na rysunku
7b działa odwrotnie: następuje wydłużenie cza-
su wzbudzenia, a skraca się czas odwzbudzenia
przekątnika.

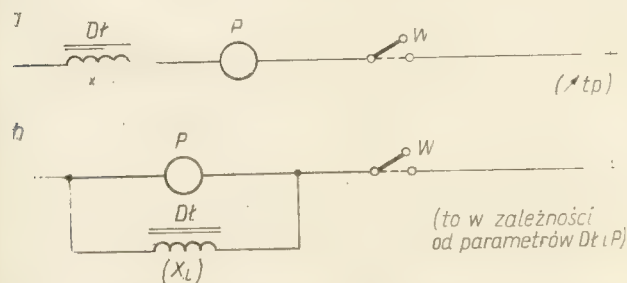
Układ uzupełniony dodatkowym rezystorem
 R_d (rys. 7 c, d) z wprowadzeniem regulacji płyn-
nej lub skokowej obu oporów daje dogodną
możliwość dobrania potrzebnych czasów wzbud-
zenia i odwzbudzenia się przekątników w
przedziale założonych czasów. Układ taki mo-
że zastępować przekątnik pomiarowy o dokład-
nych czasach działania.

Przy włączeniu rezystora równolegle z uzwo-
jeniem przekątnika, wpływ tego elementu o-
granicza się tylko do niewielkiego wydłużenia
czasu odwzbudzenia przekątnika.

Zmiana czasów działania przekątnika przy współpracy z dławikiem (Dt)

Włączenie szeregowo w obwód przekątnika
dodatkowej indukcyjności (X_L) — rys. 8a, powo-
duje zmianę stałej czasowej obwodu przez co
następuje znacznie większe wydłużenie czasów
wzbudzenia przekątnika niż przy szeregowym
włączeniu rezystora.

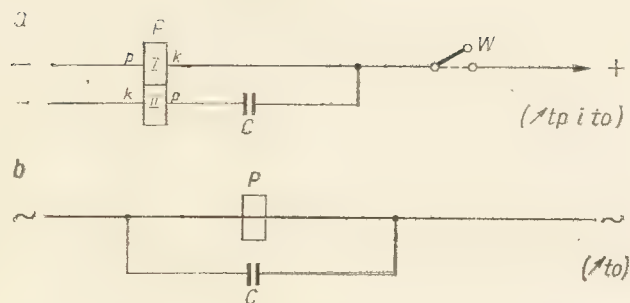
Włączenie równolegle dławika do uzwojenia
przekątnika (rys. 8b) nie ma wpływu na zmia-



Rys. 8. Wpływ sposobu włączenia indukcyjności (Dt)
na czas działania przekątnika
a — połączenie szeregowe, b — połączenie równoległe

nę czasów wzbudzenia się przekątnika, nato-
miast wpływ na jego czas odwzbudzenia się za-
leży od wartości sem samoindukcji dodatkowe-
go dławika (sem samoindukcji jest proporcjo-
nalna do indukcyjności):

- 1) jeżeli indukcyjność dławika (L_d) jest więk-
sza od indukcyjności przekątnika (L_p) to u-
zyskuje się skrócenie czasu odwzbudzenia
przekątnika,
- 2) jeżeli $L_d < L_p$, to czas zwolnienia (t_o) jest
dłuższy aniżeli bez bocznikującego uzwoje-
nia dławika,
- 3) jeżeli indukcyjności dławika i przekątnika
są takie same, to czas zwalniania jest taki
sam jak dla przekątnika bez bocznika.



Rys. 9. Wpływ sposobu włączenia pojemności (c) na
czas działania przekątnika

Znajomość tej reguły jest bardzo ważna, ze
względu na to, że w praktyce w układach sto-
sowane jest bardzo często łączenie ze sobą rów-
noległe po kilka przekątników, co przy niedo-
braniu ich własności może mieć niezamierzony
wpływ na charakterystykę pracy każdego z
nich.

Zmiana czasów działania przekątnika przy współpracy z kondensatorem (C)

Włączenie samego kondensatora (bez rezy-
stora), jako elementu opóźniającego działanie
przekątnika, w układach srk stosowane jest
rzadko, natomiast częściej w układach teletech-
nicznych.

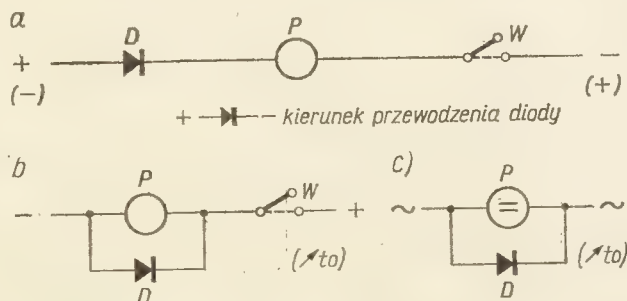
Np. włączenie kondensatora szeregowo z jed-
nym z uzwojeń przekątnika (rys. 9a), powodu-
je wydłużenie czasów działania tego przeką-
tnika zarówno na przyciąganie jak i zwalnianie
kotwicy. Przekątnik wykorzystany w tym u-
kładzie ma uzwojenia łączone przeciwsobnie.

Układ przekątnika z włączonym równoległe
samym kondensatorem jest stosowany prze-
ważnie w obwodach prądów przemiennych, dla
stworzenia drogi omijającej uzwojenie przeką-
tnika od tych prądów.

Takie włączenie pojemności wydłuża czas od-
wzbudzenia się przekątnika.

Zmiana czasów działania przekątnika przy współpracy z prostownikiem (D)

Układy przekątnika z prostownikiem (diodą)
służą do rozróżniania kierunku przepływu prądu
w obwodzie lub dla spowodowania opóźnie-
nia działania tego przekątnika (rys. 10).



Rys. 10. Wpływ sposobu włączenia prostownika (D) na
czas działania przekątnika

Połączenie prostownika w szereg z uzwojeniem przekąznika powoduje działanie przekąznika tylko wtedy gdy dioda spolaryzowana jest w kierunku przewodzenia, a przez uzwojenie przepływa prąd.

Włączenie diody równolegle powoduje opóźnienie zwalniania kotwicy przekąznika.

Jeżeli przekąznik zasilany jest ze źródła prądu stałego i gdy kierunek tego prądu jest zgodny z kierunkiem przepustowym (przewodzenia) diody — przekąznik nie wzbudzi się, gdyż jego uzwojenie jest zwarte małą rezystancją diody. Zmiana kierunku podłączenia diody do uzwojenia przekąznika lub zmiana kierunku przepływu prądu zasilającego układ spowoduje wzbudzenie się przekąznika gdyż dioda spolaryzowana w kierunku nieprzewodzenia ma dużą rezystancję.

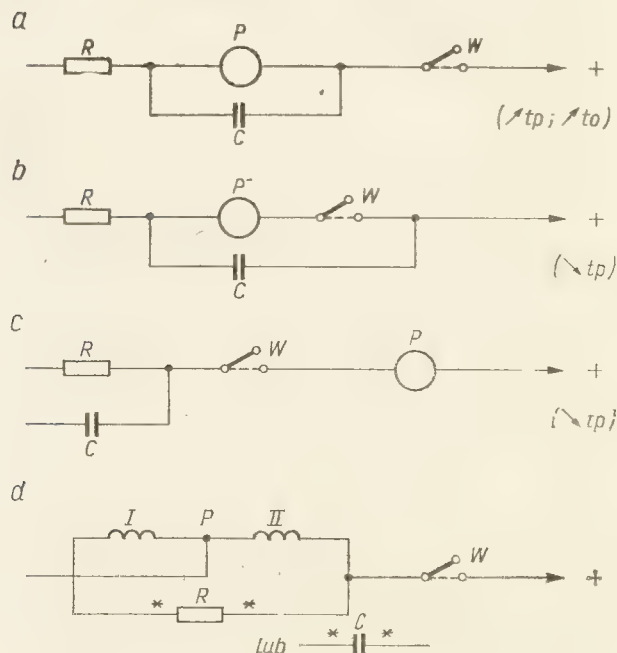
Jeżeli przekąznik prądu stałego (neutralny) jest zasilany prądem przemiennym 50 Hz, to dioda włączona równolegle do jego uzwojenia powoduje wprowadzić zwieranie tego uzwojenia dla jednej połówki prądu przemiennego, co opóźnia go na zwalnianie, ale w uzwojeniu przekąznika płynie prąd jednokierunkowy, dzięki czemu umożliwiające jest prawidłowe jego działanie.

Układy elektryczne wieloelementowe

Zmiana czasów wzbudzenia przekązników

Przykłady dotychczas nie omawianych zewnętrznych układów elektrycznych kilkuelementowych — zmieniających czasy wzbudzenia się przekązników przedstawia rysunek 11.

Układ a: opóźnienie wzbudzenia się przekąznika uzyskano przez zastosowanie w układzie rezystora i kondensatora. Po zamknięciu obwodu



Rys. 11. Zewnętrzne układy elektryczne wpływające na zmianę czasów wzbudzenia (t_p) przekązników neutralnych

przez wyłącznik W, w pierwszej chwili gdy kondensator ma dla prądu stałego rezystancję nieskończenie małą przez co zwiera sobą uzwojenie przekąznika, następuje ograniczony rezy-storem R przepływ prądu, którego wartość maleje w miarę ładowania się kondensatora i wzrastania jego oporności wewnętrznej.

W tym czasie napięcie na uzwojeniu przekąznika jest niskie. Prąd ładowania malejąc powoduje wzrost napięcia na uzwojeniu przekąznika, który dopiero teraz przyciąga kotwicę.

Z chwilą wyłączenia prądu, kondensator rozładowując się przez uzwojenie przekąznika hamuje zanik strumienia roboczego przez co wydłuża się czas zwalniania przekąznika.

Układ b: włączenie kondensatora równolegle do uzwojenia przekąznika oraz zestyku włącznika W — pozwala na przyspieszenie wzbudzenia się przekąznika. Układ pracuje w oparciu o zasadę rozładowania kondensatora poprzez uzwojenie przekąznika. Kondensator wcześniej, naładowany z chwilą zamknięcia zestyku W powoduje, że oprócz zasilania uzwojenia ze źródła prądu, następuje rozładowanie się jego ładunku przez uzwojenie przekąznika, zwiększając w ten sposób prąd w obwodzie, w wyniku czego przekąznik wzbudza się szybciej.

Ze względu na konieczność stosowania dużych pojemności, w omawianym układzie wykorzystuje się kondensatory elektrolityczne.

Układ ma tę zaletę, że źródło prądu w chwili włączenia obwodu przekąznika nie jest obciążone dużym prądem oraz, że kondensator dołączony jest stale do źródła co ma dodatni wpływ na zachowanie wartości jego pojemności.

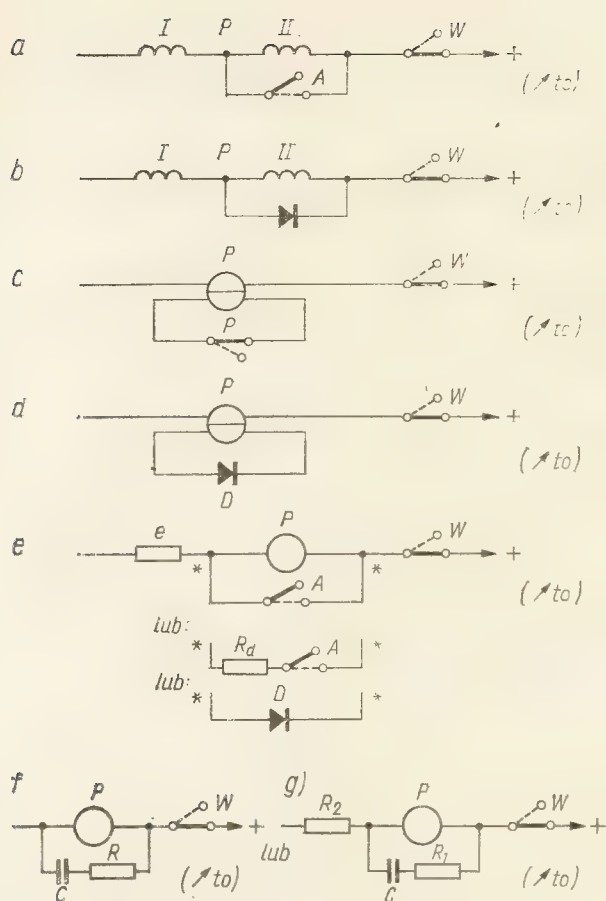
Układ c: zwany układem ziemi Maxwella, stosowany jest tam, gdzie zależy na uzyskaniu szybkiego wzbudzenia się przekąznika przy jednoczesnym małym poborze prądu w czasie jego pracy. Podczas ładowania się kondensatora następuje chwilowe zwiększenie prądu w obwodzie przekąznika, a co za tym idzie zwiększenie współczynnika bezpieczeństwa na przyciąganie.

Układ d: Przekąznik ma dwa uzwojenia wzbudzające strumienie magnetyczne o kierunkach przeciwnych. Włączony szeregowo z jednym z uzwojeń rezystor R lub kondensator C umożliwia uzyskanie znacznych czasów wydłużenia przyciągania oraz zwalniania kotwicy.

Zmiana czasów odwzbudzenia przekązników

Przykłady zewnętrznych układów elektrycznych zmieniających czasy odwzbudzenia się przekązników przedstawia rysunek 12. Przekązniki znajdują się w stanie wzbudzonym.

Każdy z tych układów działa w różny sposób na przekąznik w zależności od jego konstrukcji, parametrów itp. Dlatego też, aby osiągnąć pożądany wynik, należy sprawdzić go praktycznie i dobrać najlepsze rozwiązanie, a także ele-



Rys. 12. Zewnętrzne układy elektryczne wpływające na zmianę czasów odwzbudzenia (t_0) przekaźników neutralnych,

menty opóźniające (np. kondensatory). Należy również pamiętać, że każdy z przedstawionych układów wydłuża przede wszystkim czas odwzbudzenia przekaźnika, ale ma również wpływ na czas przyciągania kotwicy.

Przekaźnik z podwójnym uzwojeniem: opóźnienie odwzbudzenia uzyskuje poprzez zwarcie jednego z tych uzwojeń na stałe przez zestyk innego przekaźnika (A), inny łącznik dowolnie uruchamiany lub przez diodę.

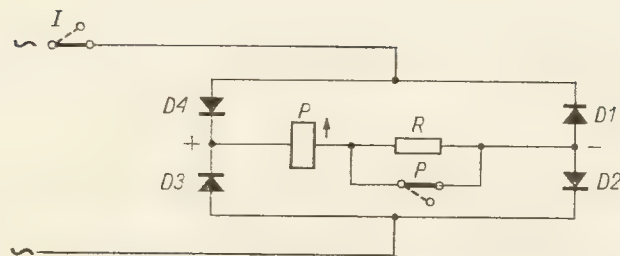
W przypadku zastosowania układu a lub b, prąd roboczy płynie przez obydwa uzwojenia, a zwarcie jednego z uzwojeń następuje tuż przed wyłączeniem (a) lub w chwili wyłączenia (b) zasilania układu. W przypadku układu c lub d prąd roboczy płynie stale tylko przez jedno z uzwojeń.

Układy e-g przedstawiają sposoby opóźnienia odwzbudzenia przekaźnika z jednym uzwojeniem.

Odwbudzenie przekaźnika P wg układu e dokonywane jest poprzez odwbudzenie się innego przekaźnika A, którego zestyk zwiera uzwojenie P.

Rezystor R w tym układzie jest konieczny ze względu na zabezpieczenie źródła od zwarcia.

Dodatkową modyfikacją układu e jest wprowadzenie drugiego opornika R_d , który również



Rys. 13. Przyspieszenie działania przekaźnika neutralnego, zasilanego w układzie mostkowym Graetza

wydłuża czas odwzbudzenia przekaźnika lub zastosowanie odpowiednio diody.

Ostatnią grupą układów, bardzo popularną i najczęściej stosowaną w urządzeniach zrk, dającą przy tym dość znaczne czasy opóźnienia działania, zwłaszcza przy odwzbudzeniu się przekaźników, stanowią obwody z kondensatorami o dużych pojemnościach.

W układach f i g rezystory spełniają podwójne zadanie: ograniczają pierwszy impuls prądu ładowania kondensatora oraz wydłużają czas jego rozładowania przez uzwojenie przekaźnika po przerwaniu obwodu zasilania układu. Pojemność zastosowanych kondensatorów (50–1000 μF) ma decydujące znaczenie przy ustaleniu potrzebnego do uzyskania czasu odwzbudzenia się przekaźnika. Rezystor należy dobrać doświadczalnie przy najczęściej spotykanych wartościach rzędu do 100 omów.

Należy również pamiętać, że dość popularnie stosowany układ prostowniczy (układ Graetza) ma wpływ na opóźnienie zwalniania kotwicy.

Dla przyspieszenia zwalniania przekaźnika (np. w obwodach impulsowania) stosuje się układ przedstawiony na rysunku 13. Po zadziałaniu przekaźnika, zostaje włączony w szereg z uzwojeniem przekaźnika, jego własnym zestykiem, dodatkowy rezystor dzięki czemu zmienia się współczynnik bezpieczeństwa na zwalnianie.

POMIARY CZASÓW DZIAŁANIA PRZEKAŹNIKÓW

Bardzo istotnym jest określenie rzeczywistych czasów działania przekaźnika, który albo przystosowano do tego celu na drodze zmian konstrukcyjnych lub przez zastosowanie dodatkowego, zewnętrznego układu elektrycznego.

Zasadniczym przyrządem służącym do wykonywania pomiaru czasów działania przekaźników jest milisekundomierz. Do dokładniejszych pomiarów używa się milisekundomierza elektronowego, jednak bardziej dostępny i łatwiejszy w obsłudze jest milisekundomierz silnikowy.

Znane są również metody pomiarów czasów za pomocą oscyloskopów elektronicznych.

Badania eksploatacyjne elementów izolacyjnych styków torowych z tworzyw termoplastycznych

W ramach tematu prowadzonego przez COBiRTK mającego na celu dobór właściwego materiału na elementy izolacyjne złącza szynowego, przebadano laboratoryjnie i eksploatacyjnie grupę materiałów warstwowych opartych na tkaninie szklanej, żywicach epoksydowych oraz żywicy fenolowo-formaldehydowej.

Badania eksploatacyjne wykazały małą przydatność tych materiałów z uwagi na ich dużą kruchość, co spowodowało szybki proces zużycia pod wpływem występujących naprężeń w czasie jazdy pociągów. W związku z czym izolacje wykonane z tych materiałów wykazywały szybsze zużycie niż dotychczas stosowany tekstolit.

Wyprodukowano również serię prototypową izolacji szynowej z tworzyw termoplastycznych, takich jak: Poliamid o nazwie handlowej „Tarnamid T-27”, Poliamid wzmocniony ciętym włóknem szklanym o nazwie handlowej „Itamid 35” i mieszaninę polietylenu z polipropylenem o nazwie handlowej „Blenden”. Izolacje typu S-49 wyprodukowane z powyższych materiałów poddano badaniom eksploatacyjnym na dwóch stacjach. Krótki okres obserwacji pracy izolacji termoplastycznych pozwolił na stwierdzenie nieprzydatności izolacji wykonanej z Blendenu wskutek jej szybkiego zużycia. Izolacje wykonane z Tarnamidu T-27 i Itamidu 35 nie można było ocenić w tak krótkim okresie ich pracy. Wskutek tego poddano je dwuletniemu okresowi kontroli i obserwacji.

Charakterystyka zastosowanych materiałów

Zastosowany na izolację styku szynowego Tarnamid T-27 jest termoplastycznym tworzywem wtryskowym, otrzymywany przez hydrolytyczną polimeryzację kaprolaktamu z dodatkiem stabilizatora.

Tarnamid T-27 produkowany jest przez Zakłady Azotowe Tarnów w postaci regularnych ziaren o średnicy 3 do 5 mm. Przeznaczony jest do produkcji kształtek technicznych. Właściwości fizykochemiczne i wytrzymałościowe Tarnamidu T-27 ujemuje norma ZN-64/MPCh-SCh-223.

Itamid 35 jest Tarnamidem T-27 z 35% zawartością ciętego włókna szklanego o długości 3 mm. Produkowany jest w postaci granulek przeznaczonych do przetwarzania metodą wtrysku. Producentem Itamidu 35 jest Spółdzielnia Chemików „Xenon” w Łodzi. Właściwości Itamidu 35 podane są w notatce informacyjnej PM-2/70 opracowanej przez Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie.

Opis przeprowadzonych badań

Do przeprowadzenia badań wytypowano stacje Tczew i Warszawę Wschodnią. Na obydwu stacjach izolacje wykonane z każdego z doświadczalnych materiałów wbudowano w rozjazdach torów głównych i torów stacyjnych, z taką samą ilością izolacji tekstolitowej w złączach równoległych. Uzyskano przez to dla jednego tworzywa różnorodne warunki pracy i zapewniono zbliżone warunki pracy izolacji doświadczalnych i dotychczas stosowanej izolacji tekstolitowej.

Na stacji Tczew wbudowano: 50 kompletów izolacji wykonanej z Itamidu 35, 50 kompletów izolacji wykonanej z Tarnamidu T-27 i 100 kompletów izolacji wykonanej z tekstolitu (w złączach równoległych).

Na stacji Warszawa Wschodnia wbudowano: 49 kompletów z Itamidu 35, 44 komplety z Tarnamidu T-27, 93 komplety z tekstolitu (w złączach równoległych).

Przy montażu izolacji dla każdego styku wyposażonego w izolację doświadczalną oraz styku równoległego wyposażonego w izolację tekstolitową zakładano kartę pomiarową i równocześnie numerowano styki farbą wodoodporną.

Na kartkę pomiarową nanoszono takie parametry styków jak:

- zapadnięcie styku czyli wielkość statycznego odkształcenia toru w płaszczyźnie pionowej,
- różnica wysokości dwóch końców szyn w styku,
- luz w styku,
- ugięcie styku pod obciążeniem czyli dynamiczne odkształcenie toru w płaszczyźnie pionowej.
- stan utrzymania styku tzn. dokręcenie śrub stopowych, łubkowych, wkrętów, stan podkładów, podsypki i podbicie.

W dniu montażu dokonywano pierwszego pomiaru ww. parametrów. W okresie badań eksploatacyjnych pomiary wykonywano raz na kwartał w każdej porze roku. W specjalnej rubryce kart pomiarowych służba zabezpieczenia ruchu i służba drogowa dokonywały na bieżąco adnotacji o dokonywanych wymianach izolacji doświadczalnych bądź tekstolitowych objętych pomiarami, notując: datę wymiany, ilość uszkodzonych elementów i ich rodzaj (tulejki,

Tablica 1

Ilość uszkodzonych izolacji z Tarnamidu T-27 i Tekstolitu zamontowanych na stacji Tczew i Warszawa Wschodnia

Czasokres pracy (dni)	Tarnamid T-27						Tekstolit						
	Ilość kom- pletów	% Uszko- dzeń	Parametry styków				Ilość kom- pletów	% Uszko- dzeń	Parametry styków				
			mm						mm				
			Ugięcie	Zapa- dnięcie	Różnica wys.	Luz			Ugięcie	Zapa- dnięcie	Różnica wys.	Luz	
0—100	—	—	—	—	—	—	14	11	9,6	9,8	2,04	9,43	
100—200	4	4	7,03	13,1	0,75	13,7	20	16	8,2	11,8	1,61	16,4	
200—300	2	2	6,15	8,75	2,25	11,65	8	7	5,81	9,87	1,65	11,6	
300—400	6	7	6,56	10,1	1,53	6,2	7	6	7,44	9,9	3,21	13,3	
400—500	3	3	6,23	11,33	1,93	6,9	5	4	4,94	10,9	1,48	5,48	
500—600	3	3	6,23	9,77	2,23	6,93	1	1	5,2	3,8	1,0	8,3	
600—700	8	9	6,27	10,15	3,54	11,44	4	3	4,87	10,07	2,03	13,87	
Razem uszkodzeń	26	28					59	48					
			Średnie warunki pracy dla izolacji uszkodzonych							Średnie warunki pracy izolacji uszkodzonych			
			6,44	10,73	2,21	9,55				7,15	9,4	1,92	12,5

przekładki podłużne lub poprzeczne) oraz dokonywane prace w zakresie utrzymania styków.

Po zakończeniu okresu badań i obserwacji pracy izolacji doświadczalnych i tekstolitowych (zamontowanych w stykach równoległych), obliczano średnie parametry poszczególnych styków takie jak: wielkość ugięć dynamicznych, zapadnięcie styku, różnicę wysokości szyn w styku i luz styku. Następnie obliczano czasokresy pracy izolacji doświadczalnych i współpracującej z nią izolacji tekstolitowej,

biorąc pod uwagę datę zamontowania i zarejestrowaną datę wymiany izolacji. Mając te dane przeanalizowano czasokresy pracy poszczególnych rodzajów izolacji, ustalając przedziały czasu pracy co 100 dni.

Do izolacji uszkodzonych w danym przedziale czasu obliczano średnie parametry styków, w których te izolacje pracowały.

Tablica 1 i 2 ilustrują łączną ilość uszkodzonych izolacji na obydwu stacjach (Tczew i Warszawa Wschodnia) oraz średnie parametry styków, w których pracowały te izolacje.

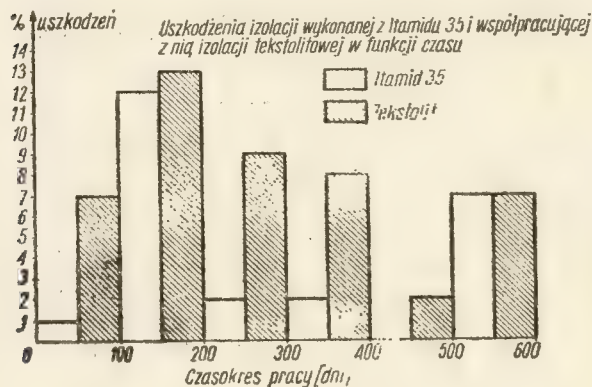
Tablica 2

Ilość uszkodzonych izolacji z Itamid 35 i Tekstolitu zamontowanych na stacji Tczew i Warszawa Wschodnia

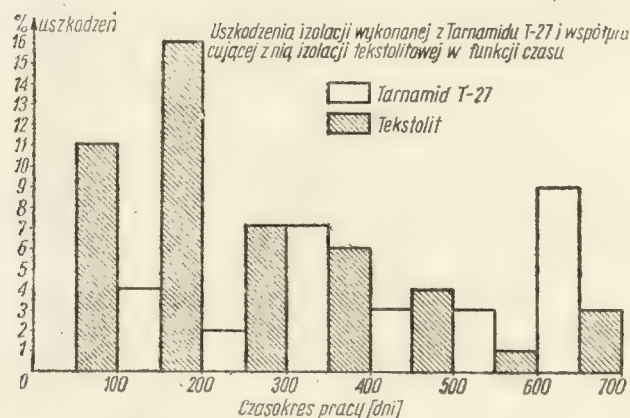
Czasokres pracy (dni)	Itamid 35						Tekstolit						
	Ilość kom- pletów	% Uszko- dzeń	Parametry styków				Ilość kom- pletów	% Uszko- dzeń	Parametry styków				
			mm						mm				
			Ugięcie	Zapa- dnięcie	Różnica wys.	Luz			Ugięcie	Zapa- dnięcie	Różnica wys.	Luz	
0—100	1	1	6,3	12,6	1,5	4	8	7	7,5	6,7	1,7	6,3	
100—200	12	12	6,72	9,22	1,8	10,2	16	13	6,47	8,86	1,81	6,3	
200—300	2	2	5,6	12,7	1,3	12,6	11	9	5,76	9,31	1,55	7,5	
300—400	2	2	7,3	3,6	2,3	10,7	10	8	7,32	9,72	1,59	8,53	
400—500	0	0	—	—	—	—	3	2	5,7	8,8	1,6	8,03	
500—600	7	7	5,27	8,8	1,64	11,8	8	7	5,36	7,3	1,53	10,9	
600—700	0	0	—	—	—	—	0	0	—	—	—	—	
Razem uszkodzeń	24	24					56	46					
			Średnie warunki pracy izolacji uszkodzonych							Średnie warunki pracy izolacji uszkodzonych			
			6,23	9,06	1,74	10,43				6,42	8,57	1,65	7,69

Analiza wyników badań izolacji termoplastycznych

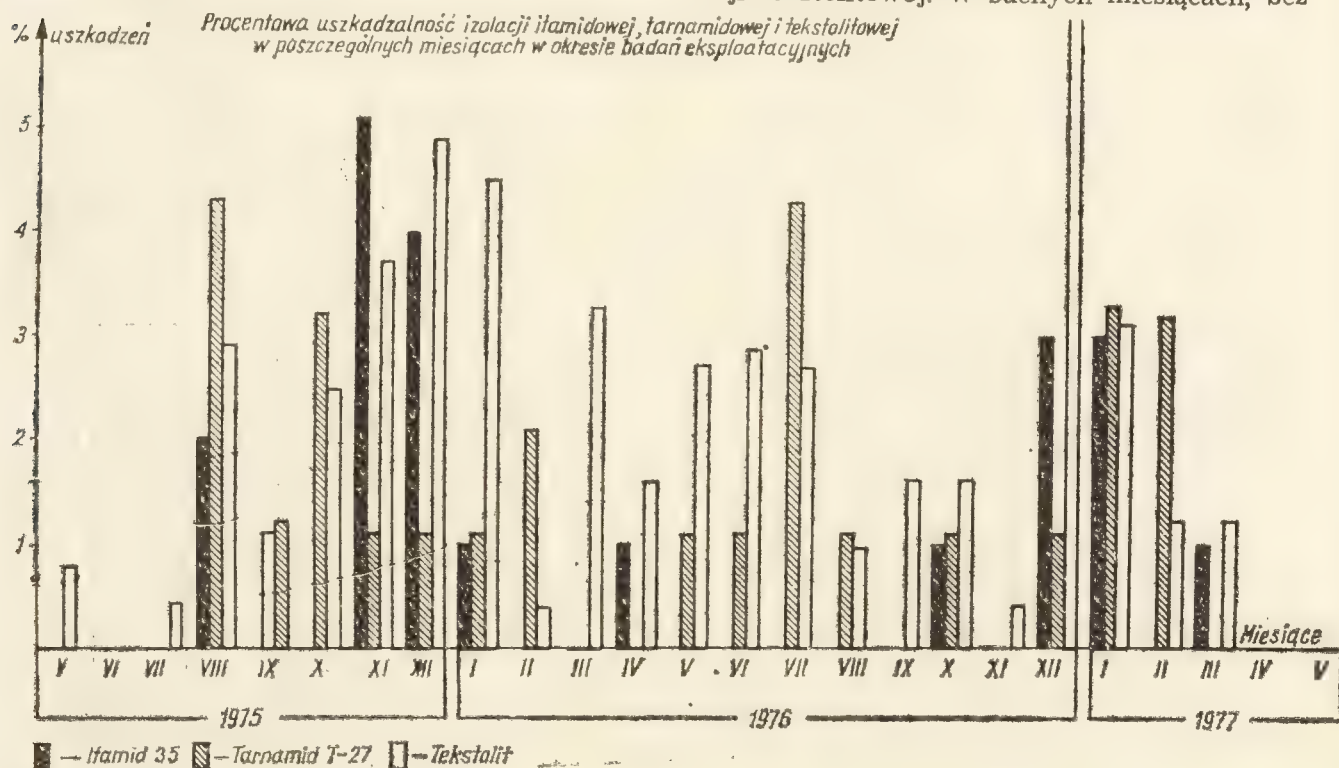
Rozpatrując procent uszkodzalności izolacji w funkcji czasu, obserwuje się wzrost uszkodzeń izolacji wykonanej z Itamidu 35 w czasokresie 100 ÷ 200 dni oraz 500 ÷ 600 dni.



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

Dla Tarnamidu T-27 uszkodzalność wzrasta w przedziałach czasu pracy 300 ÷ 400 i 600 ÷ 700 dni. Graficznie ilustruje to rysunek 1 i 2. Rozpatrywano to zjawisko z punktu widzenia pór roku i zilustrowano na rysunku 3, biorąc pod uwagę procentową ilość uszkodzeń poszczególnych rodzajów izolacji w określonych miesiącach roku.

Analizując histogram uszkodzalności izolacji przedstawiony na rysunku 3, widać wyraźnie, że izolacje wykonane z Itamidu 35 uszkodzają się w największym procencie w miesiącach zimowych, co świadczy o małej mrozoodporności materiału. Izolacje tarnamidowe wykazują równomierniejszą uszkodzalność w poszczególnych miesiącach roku. Wzrost uszkodzalności występuje w miesiącach wzmożonych opadów. Tłumaczy się to spadkiem wytrzymałości tarnamidu po wzroście nasiąkliwości. Każdy procent wzrostu wilgotności powoduje spadek wytrzymałości na zginanie o około 15%. Wprawdzie zastosowano izolacje sezonowane, tzn. zawierające około 5% wody, nie mniej nie można wykluczyć wchłaniania przez izolacje do około 10% wody w przypadku dużych opadów atmosferycznych. Stąd maksymalne uszkodzenie izolacji tarnamidowych występowało głównie w miesiącach o dużej ilości opadów atmosferycznych. Zużywalność izolacji tekstolitowej w porównaniu z itamidową jest z reguły wyższa lub równorzędna, z wyjątkiem listopada 1975 r. i stycznia 1976 r. kiedy to procent uszkodzeń izolacji itamidowej przekroczył procent uszkodzeń tekstolitu.

W miesiącach z dużą ilością opadów atmosferycznych uszkodzalność izolacji wykonanej z Tarnamidu T-27 przewyższa uszkodzalność izolacji tekstolitowej. W suchych miesiącach, bez

względnie na porę roku, izolacje tekstolitowe podlegają częstszej wymianie niż tarnamidowe.

Na podstawie kart w okresie objętym pomiarami wyliczono, że: średni okres pracy izolacji wykonanej z Itamid 35 wynosi 622 dni a współpracującej z nim w równoległych stykach izolacji tekstolitowej 517 dni. Tym samym średni okres pracy izolacji itamidowej jest dłuższy o 105 dni czyli o 3,5 miesiąca.

W stykach doświadczalnych na terenie stacji Warszawa Wschodnia i Tczew ogólnie wmontowano 99 kompletów izolacji wykonanej z Itamid 35 i taką samą ilość izolacji tekstolitowej. Po zakończeniu badań stwierdzono 24% uszkodzeń izolacji itamidowej i 46% uszkodzeń izolacji tekstolitowej. Średni okres pracy izolacji wykonanej z Tarnamidu T-27 wynosi 649 dni, a współpracującej z nią izolacji tekstolitowej wynosi 496 dni. Średni okres pracy izolacji tarnamidowej jest o 53 dni czyli o prawie dwa miesiące dłuższy w porównaniu z tekstolitową.

Do badań eksploatacyjnych zamontowano w stykach doświadczalnych 94 komplety izolacji tarnamidowych i taką samą ilość kompletów izolacji tekstolitowej. Uszkodzalność izolacji tarnamidowej wyniosła 28%, a tekstolitowej 48%. Z powyższych danych wynika, że najniższą uszkodzalność wykazała izolacja wykonana z Itamidu 35, w następnej kolejności izolacja tarnamidowa. Dotychczas stosowana izolacja tekstolitowa, zarówno w stykach współpracujących z izolacją tarnamidową jak też itamidową, wykazała o wiele wyższy stopień zużycia i krótszy okres efektywnej pracy.

Analiza badań izolacji termoplastycznych

Przy obliczeniu czasokresu pracy potraktowano poszczególne elementy złącza szynowego jako pewną całość i obliczono czas pracy dla całych kompletów izolacyjnych oraz procentowe zużycie izolacji termoplastycznych i tekstolitowych w przedziałach czasu co 100 dni. Rysunek 4 i 5 ilustruje skumulowany procent zużycia izolacji doświadczalnych (wykonywanych z Itamidu 35 i Tarnamidu T-27) i współpracującej z nimi izolacji tekstolitowej. Jak widać z tych rysunków obie izolacje wykazują mniejszą uszkodzalność niż tekstolitowe. Niezawodność pracy izolacji termoplastycznych i współpracującej z nimi izolacji tekstolitowej ilustruje tablica 3.

Niezawodność obliczano wg wzoru:

$$R_t = \frac{N_t}{N}$$

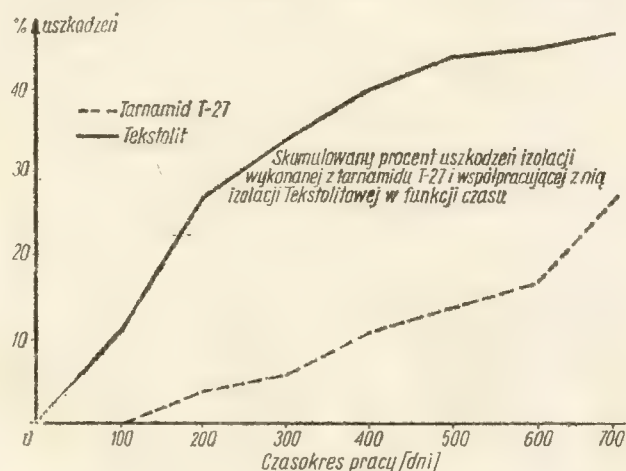
R_t — frakcja niezawodnych kompletów izolacji

N_t — ilość nieuszkodzonych izolacji w okresie badań

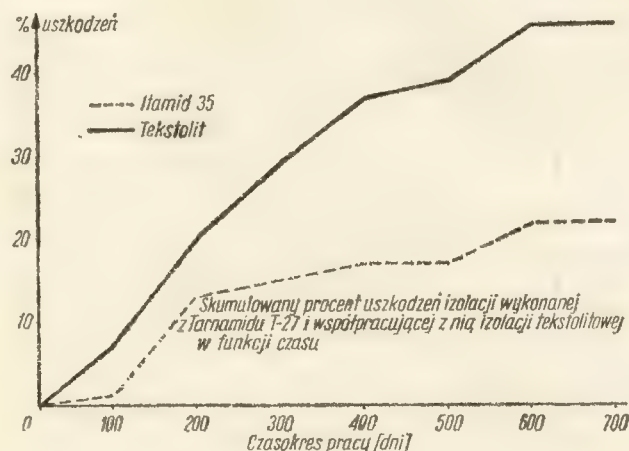
N — ilość zamontowanych izolacji

Jak wynika z tablicy 3, izolacje z Itamidu 35 i Tarnamidu T-27 wykazały większą trwałość (niezawodność) niż izolacje tekstolitowe.

Aby frakcje elementów niezawodnych mogły być podstawą do oceny izolacji doświadczalnych, należy sprawdzić czy warunki pracy dwu porównywalnych materiałów były takie same. Na trwałość izolacji wpływa głównie obciążenie i stan utrzymania styków. Z uwagi na



Rys. 4



Rys. 5

montowanie izolacji doświadczalnych i tekstolitowych w dwu równoległych stykach można pominąć wielkość obciążenia. Natomiast stan utrzymania dwu równoległych styków mógł być różny, gdyż większość styków doświadczalnych znajdowała się w rozjazdach, gdzie zachodzą znaczne różnice w warunkach pracy złącza przy krzyżownicy i złącza przeciwległego w toku zewnętrznym.

W tablicy 4 pokazano średnie wielkości (mierzonego — w czasie trwania badań eksploatacyjnych) — ugięcia styków. Dokładną analizę wpływu poszczególnych parametrów na żywotność izolacji wykonano w III etapie pracy nr 107-05-00-00-03 [2], wykazując, że największy wpływ na żywotność izolacji ma wielkość ugięcia dynamicznego. Ten parametr uznano za reprezentatywny w ocenie warunków pracy izolacji. Tablica 4 podaje wielkość ugięć dynamicznych dla wszystkich złącz, w których zamontowano dany rodzaj izolacji.

Celem sprawdzenia czy zachodziły istotne różnice między wielkościami ugięć dynamicz-

Tablica 3

Rodzaj izolacji	Niezawodność
Itamid 35	0,7576
Tarnamid T-27	0,7234
Tekstolit współpracujący z Itamidem 35	0,5372
Tekstolit współpracujący z Tarnamidem T-27	0,5164
Średnia niezawodność tekstolitu	0,5268
Różnica niezawodności między Itamidem 35 a współpracującym tekstolitem	0,2204
Różnica niezawodności między Tarnamidem T-27 a współpracującym tekstolitem	0,2070
Różnica niezawodności między Itamidem 35 a Tarnamidem T-27	0,0342

Ugięcie dynamiczne pod obciążeniem

Tablica 4

Lp.	Rodzaj materiału	Ugięcie dynamiczne	
		wartość średnia (mm)	Odchylenie standardowe (mm)
1	Tarnamid T-27	5,51	1,78
2	Tekstolit współpracujący	6,21	3,12
3	Itamid 35	5,61	1,44
4	Tekstolit współpracujący	6,00	2,11

nych złącz wyposażonych w izolację wykonaną z Tarnamidu T-27 i Itamidu 35, a wielkością ugięć w złączach równoległych z izolacją tekstolitową, zastosowano test „dla dwu średnich” [1].

Na poziomie istotności $\alpha = 0,01$ zweryfikowano hipotezę, że średnie wielkości ugięć złącz z izolacją doświadczalną są równe wielkości średnich ugięć złącz z izolacją tekstolitową

$$H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2$$

Wobec hipotezy alternatywnej, że wielkości średnich ugięć złącz z izolacją doświadczalną są mniejsze

$$H_1: \bar{x}_1 < \bar{x}_2$$

Wartość statystyki u [1] obliczono według wzoru:

$$u = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}}$$

gdzie: $\bar{x}$ — średnie wartości

S — odchylenie standardowe

n — liczebność frakcji

Podstawiając dane z tablicy 4 dla Tarnamidu T-27: $u = -2,099$, dla Itamidu 35: $u = -1,530$.

Wartość krytyczna dla lewostronnego obszaru krytycznego odczytana z tablicy rozkładu normalnego $N(0,1)$ wynosi:

$$u_{\alpha} = -2,33$$

Z porównania wielkości u i u_{α} wynika, że dla Tarnamidu T-27 $u = -2,099 > -2,33$, Itamidu 35 $u = -1,530 > -2,33$.

W obydwu przypadkach nie były to obszary krytyczne, zatem nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o równości średnich i można stwierdzić, że różnice średnich wielkości ugięć w złączach z izolacją doświadczalną i tradycyjną nie są statystycznie istotne. Na tej podstawie przyjęto, że warunki pracy izolacji doświadczalnej i tekstolitowej były podobne, a więc wielkości frakcji elementów niezawodnych mogą być miernikiem przydatności izolacji. Tym samym izolacje z Itamidu 35 wykazują największą przydatność. W następnej kolejności należy wymienić izolacje wykonane z Tarnamidu T-27.

Wnioski

1. Izolacje styku szynowego wykonane zarówno z Itamidu 35 jak też z Tarnamidu T-27 poddane badaniom eksploatacyjnym na stacji Tczew i Warszawa Wschodnia wykazały o 20 do 22% większą trwałość niż dotychczas stosowany tekstolit.
2. Z uwagi na nieznacznie mniejszą (około 2%) efektywność techniczną izolacji wykonanej z Tarnamidu T-27 w porównaniu z izolacją wykonaną z Itamidu 35, a znacznie niższy koszt tej izolacji, zaleca się stosowanie na PKP izolacji styku szynowego wykonanej z Tarnamidu T-27.

Literatura

- [1] Greń J. „Statystyka matematyczna, modele i zadania”, WNT Warszawa 1974 r.
- [2] Wróblewska M., Ryszka S. — „Dobór krajowych tworzyw na elementy izolacyjne izolowanego złącza szynowego”. Prace COBiRTK nr 107-05-00-00-03, Etap III.
- [3] Gnienenko B. W. — „Matematyczne podstawy teorii niezawodności” PWN, Warszawa 1962.
- [4] Vdek W. — „Statystyka stosowana dla inżynierów”, WNT Warszawa 1965 r.

Analiza częstotliwości dławika torowego

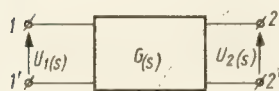
Dławik torowy należy do jednego z podstawowych elementów urządzeń sterowania ruchem kolejowym na liniach z trakcją elektryczną. Od właściwego wyboru typu dławika zależy w dużej mierze bezawaryjna praca obwodu torowego, stanowiącego jak wiadomo jedyne ogniwo łączące pojazd trakcyjny z układami sterowania.

W literaturze spotkać można bogate opisy dotyczące budowy i zasady działania dławików torowych, dotycząc one jednak przypadku zasilania obwodów torowych napięciem o częstotliwości przemysłowej. Z wielu względów w technice srk wprowadza się, bądź też dokonuje prób wprowadzenia innych częstotliwości, najczęściej z zakresu akustycznego.

W artykule podano analizę pracy dławika torowego przy dowolnej częstotliwości napięcia zasilającego, wyniki zilustrowano wykresami i wyciągnięto odpowiednie wnioski. Analizę przeprowadzono metodą operatorową wykorzystując przekształcenie Laplace'a oraz teorię regulacji automatycznej.

Pojęcia wprowadzające

Założmy, że do dowolnego elementu automatyki przedstawionego na rysunku 1, zostanie podana do zacisków wejściowych 1 — 1' transformata napięcia wejściowego $U_1(s)$, zaś na zaciskach wyjściowych 2 — 2' pojawi się transformata napięcia wyjściowego $U_2(s)$. Stosu-



Rys. 1. Schemat ogólny elementu automatyki

nek transformata napięcia wyjściowego do wejściowego nosi nazwę operatorowej transmitancji napięciowej elementu, czyli

$$G_n(s) = \frac{U_2(s)}{U_1(s)} \quad (1)$$

Oprócz transmitancji napięciowej mogą być jeszcze wprowadzone: transmitancja prądowa i prądowo-napięciowa [1]. W artykule będziemy się posługiwać wyłącznie operatorową transmitancją napięciową, dlatego też zostanie wprowadzone ogólne oznaczenie $G(s)$.

W przypadku elementów o parametrach skupionych transmitancja jest funkcją wymierną względem parametru s , tzn. może być przedstawiona w postaci:

$$G(s) = \frac{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s^1 + a_0}{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0} =$$

$$= \frac{a_n}{b_m} \frac{(s - s_1) \cdot (s - s_2) \dots (s - s_n)}{(s - s_a) \cdot (s - s_b) \dots (s - s_m)} \quad (2)$$

przy czym $m \geq n$.

Wstawiając do wyrażenia (2) wartość $s = j\omega$, co odpowiada podaniu do wejścia elementu harmonicznego o odpowiedniej amplitudzie i fazie, na wyjściu elementu otrzyma się również sygnał o odpowiedniej amplitudzie i fazie — uzyskamy:

$$G(j\omega) = \frac{a_n(j\omega)^n + a_{n-1}(j\omega)^{n-1} + \dots + a_1(j\omega) + a_0}{b_m(j\omega)^m + b_{m-1}(j\omega)^{m-1} + \dots + b_1(j\omega) + b_0}$$

Wyrażenie $G(j\omega)$ nosi nazwę transmitancji widmowej.

Transmitancja widmowa jest liczbą zespoloną, może być więc podana w postaci algebraicznej lub wykładniczej:

$$G(j\omega) = \frac{A(\omega) + jB(\omega)}{C(\omega) + jD(\omega)} = P(\omega) + jQ(\omega) \quad (4)$$

$$G(j\omega) = M(\omega) e^{j\varphi(\omega)} \quad (5)$$

gdzie: $P(\omega)$ jest częścią rzeczywistą transmitancji widmowej

$$P(\omega) = \operatorname{Re} G(j\omega)$$

$Q(\omega)$ jest częścią urojoną transmitancji widmowej

$$Q(\omega) = \operatorname{Im} G(j\omega)$$

$M(\omega)$ jest modulem transmitancji widmowej

$$M(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)}$$

$\varphi(\omega)$ jest argumentem transmitancji widmowej

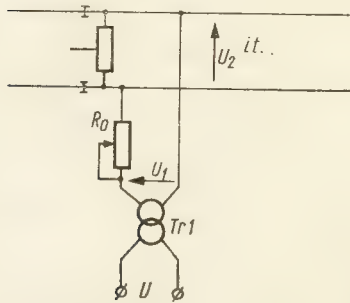
$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}$$

Z wyrażenia (4) lub (5) możemy uzyskać charakterystykę amplitudowo-fazową jako miejsce geometryczne końców wektora $M(\omega)$ przy zmianie pulsacji ω od $\omega = 0$ do $\omega = \infty$ na płaszczyźnie zmiennej zespolonej.

Z wyrażenia (5) można również uzyskać prosty sposób amplitudowy i fazowy charakterystykę logarytmiczną, doskonale obrazującą zachowanie się elementu przy zmianie pulsacji.

Dławik torowy jako element układu regulacji

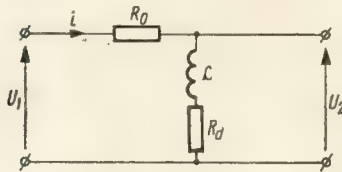
Na rysunku 2 przedstawiono schemat zasilania typowego obwodu torowego prądu przemennego. Dla uproszczenia analizy przyjęto, że dławik torowy pracuje bez obwodu rezonansowego.



Rys. 2. Schemat zasilania obwodu torowego

sowego. Napięcie wyjściowe U_1 z transformatora Tr_1 jest napięciem zasilającym. Załóżmy, że rezystor ograniczający ustawiony jest na wartość minimalną, która zgodnie z [3] wynosi 2Ω , przy czym w wartości tej uwzględniona została rezystancja przewodów zasilających. Na zaciskach dławika otrzymamy napięcie U_2 , które jest równocześnie napięciem początkowym obwodu torowego.

Dławik torowy może być traktowany jako szeregowe połączenie indukcyjności L i rezystancji uzwojenia R_d .



Rys. 3. Schemat zastępczy obwodu zasilania

Zgodnie z przyjętymi założeniami obwód zasilania wraz z dławikiem torowym można przedstawić za pomocą schematu zastępczego, pokazanego na rysunku 3.

Założmy dalej, że zaciski wyjściowe pozostaną otwarte. Obwód wejściowy opisany jest równaniem różniczkowym:

$$U_1 = i R_o + L \frac{di}{dt} + i R_d$$

Po wprowadzeniu transformacji Laplace'a otrzymamy

$$U_1(s) = i(s) R_o + i(s) L s + i(s) R_d$$

i odpowiednio dla obwodu wyjściowego

$$U_2(s) = i(s) L s + i(s) R_d$$

Na podstawie wzoru (1) transmitancja operatorowa będzie przedstawiona zależnością:

$$G(s) = \frac{R_d + L \cdot s}{R_o + R_d + L \cdot s} = \frac{R_o + R_d}{1 + T \cdot s} \quad (6)$$

gdzie: $T = \frac{L}{R_o + R_d}$ nosi nazwę stałej czasowej obwodu.

W analizowanym obwodzie $R_o \gg R_d$. Rezystancja dławika R_d może być pominięta bez wpływu na dokładność wyniku. Wówczas wyrażenie (6) sprowadza się do postaci:

$$G(s) = \frac{T \cdot s}{1 + T \cdot s} \text{ a stała czasowa } T = \frac{L}{R_o}$$

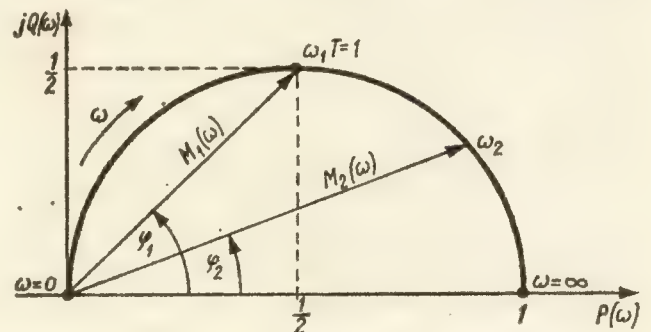
Po przejściu do transmitancji widmowej otrzymamy

$$G(j\omega) = \frac{T \cdot j\omega}{1 + T \cdot j\omega}$$

Po wyrugowaniu operatora „j” z mianownika, oraz uporządkowaniu, otrzymamy transmitancję widmową przedstawioną w postaci algebraicznej zgodnie z zależnością (4)

$$G_d = \frac{T^2 \omega^2}{1 + T^2 \omega^2} + j \frac{T \cdot \omega}{1 + T^2 \omega^2} \quad (7)$$

Zmieniając pulsację ω w przedziale $(0, +\infty)$ otrzymamy zbiory punktów odpowiadających wartościom części rzeczywistej $P(\omega)$ oraz części urojonej $Q(\omega)$. Połączenie tych punktów na płaszczyźnie zmiennej zespolonej obrazuje charakterystykę amplitudowo-fazową badanego elementu. Przebieg charakterystyki pokazano na rysunku 4.



Rys. 4. Charakterystyka amplitudowo-fazowa

Łatwo można zauważyć z wykresu, że dla bardzo małych częstotliwości ($\omega \rightarrow 0$) moduł $M(\omega)$ transmitancji widmowej zmierza do zera, a największe wartości uzyskuje przy dużych częstotliwościach, gdy $\omega \rightarrow \infty$.

Dla równania (7) moduł $M(\omega)$ jest wyrażony zależnością

$$M(\omega) = \sqrt{\left(\frac{T^2 \omega^2}{1 + T^2 \omega^2}\right)^2 + \left(\frac{T \cdot \omega}{1 + T^2 \omega^2}\right)^2} = \frac{T \cdot \omega}{\sqrt{T^2 \omega^2 + 1}} \quad (8)$$

Argument transmitancji widmowej ma wartość zawsze dodatnią i zmienia się od 90° dla $\omega \rightarrow 0$ do 0° dla $\omega \rightarrow \infty$.

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{T\omega}{1 + T^2\omega^2} : \frac{T^2\omega^2}{1 + T^2\omega^2}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{1}{\omega T} \quad (9)$$

Dla $\omega T = 1$ moduł $M(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2}}$, zaś argument $\varphi(\omega) = 45^\circ$.

Podobne wyniki możemy uzyskać wyznaczając charakterystyki częstotliwościowe logarytmiczne. Zgodnie z [2] logarytmiczną charakterystyką amplitudową $L(\omega)$ wyznacza się z wyrażenia (8) a logarytmiczną charakterystykę fazową z wyrażenia (9). Jak więc widać logarytmiczna charakterystyka amplitudowa przedstawia zmianę modułu transmitancji badanego elementu w funkcji częstotliwości. Przy stosowaniu logarytmów dziesiętnych funkcja $L(\omega)$ jest wyrażana w decybelach.

$$L(\omega) [\text{dB}] = 20 \lg \frac{T\omega}{1 + T^2\omega^2}$$

$$L(\omega) [\text{dB}] = 20 \lg T + 20 \lg \omega - 20 \lg \sqrt{1 + \omega^2 T^2}$$

Wyrażenie powyższe stanowi sumę algebraiczną trzech członów, z których każdy może być rozpatrywany oddzielnie.

Człon pierwszy przedstawia prostą równoległą do osi częstotliwości, przebiegającą na wysokości $L_1(\omega)$ w zależności od wartości stałej czasowej T .

Człon drugi przedstawia również prostą ale o nachyleniu $+20 \text{ dB/dekadę}$ częstotliwości.

Człon trzeci można dla celów praktycznych aproksymować za pomocą dwu odcinków prostej a mianowicie:

$$L(\omega)_{III} \approx 20 \lg 1 = 0 \quad \text{dla } \omega \ll \frac{1}{T}$$

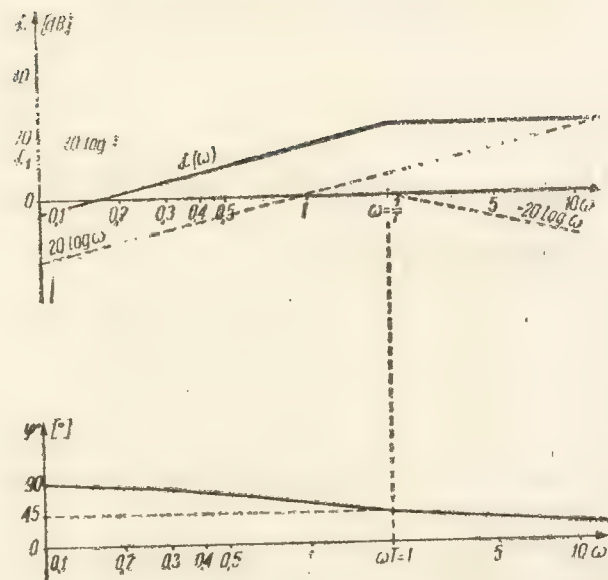
$$L(\omega)_{III} \approx 20 \lg \omega T \quad \text{dla } \omega \gg \frac{1}{T}$$

Charakterystykę wypadkową $L(\omega)$ otrzymuje się po zsumowaniu poszczególnych charakterystyk składowych.

Logarytmiczną charakterystykę fazową uzyskano bezpośrednio z wyrażenia (9).

Przebieg logarytmicznej charakterystyki amplitudowej i fazowej pokazano na rysunku 5.

Interpretacja przedstawionych przebiegów jest jak widać identyczna z wynikami uzyskanymi z przebiegu charakterystyki amplitudowo-fazowej.



Rys. 5. Charakterystyki logarytmiczne

Wnioski

Przeprowadzona analiza dla transmitancji widmowej wykazuje wpływ elementu na sygnał sinusoidalny, zasilający ten element. Z zależności (1) wynika, że znajomość transmitancji, przy znajomości sygnału wejściowego pozwala jednoznacznie określić rodzaj i zmiany sygnału wyjściowego.

Zmieniając częstotliwość sygnału wejściowego U_1 (zgodnie z rys. 2) od 0 do $+\infty$ otrzymujemy na wyjściu obwodu zasilającego napięcie U_2 o tej samej częstotliwości lecz o zmieniającej się amplitudzie i zmieniającym się przesunięciu fazowym.

Dla małych częstotliwości obwód wprowadza bardzo duże tłumienie oraz przesunięcie fazowe w granicach $+90^\circ$. Przy wzroście częstotliwości amplituda sygnału wyjściowego wzrasta a przesunięcie fazowe maleje.

Zasilanie obwodu torowego większą częstotliwością niż przemysłowa (50 Hz) wpływa korzystnie na pracę dławika torowego w układzie stosowanym tradycyjnie. Zmniejszanie się przesunięcia fazowego nie odgrywa istotnej roli z uwagi na wprowadzanie przesunięcia fazowego przez torowy odcinek izolowany.

Na zakończenie należy zaznaczyć, że w podobny sposób może być przeanalizowany dławik torowy z obwodem rezonansowym. Są również czynione próby wykorzystania rachunku operatorowego do analizy obwodów o parametrach rozłożonych np. torowych odcinków izolowanych.

Literatura:

- [1] S. Bolkowski — „Stany nieustalone w obwodach elektrycznych”, WNT 1976 r.
- [2] P. Nowacki, L. Szklarski, H. Górecki — „Podstawy teorii układu regulacji automatycznej”, tom I, PWN 1970 r.
- [3] T. Mickiewicz — „Automatyczne urządzenie zabezpieczenia ruchu na liniach kolejowych”, WKiŁ 1966 r.

Złącze p-n źródło sukcesów elektroniki półprzewodników

Część III

2. STYK PÓLPRZEWODNIKA Z METALEM

Jako wprowadzenie do omawiania złącz p-n rozpatrzmy zjawiska występujące w styku półprzewodnika z metalem.

2.1. Styk półprzewodnika typu n z metalem w stanie bezprądowym (rys. 8, krzywe a).

W dalszych rozważaniach przyjęto powszechnie stosowane oznaczenia koncentracji nośników ładunków elektrycznych:

n_n — koncentracja elektronów przewodzenia w półprzewodniku typu n

p_n — koncentracja dziur w półprzewodniku typu n

p_p — koncentracja dziur w półprzewodniku typu p

n_p — koncentracja elektronów przewodzenia w półprzewodniku typu p.

W normalnych temperaturach prawie wszystkie donory pozbywają się pojedynczych elektronów. Stan taki nazywa się stanem wyczerpania donorów. W całym kryształ $n_D \approx$ równa się n_D .

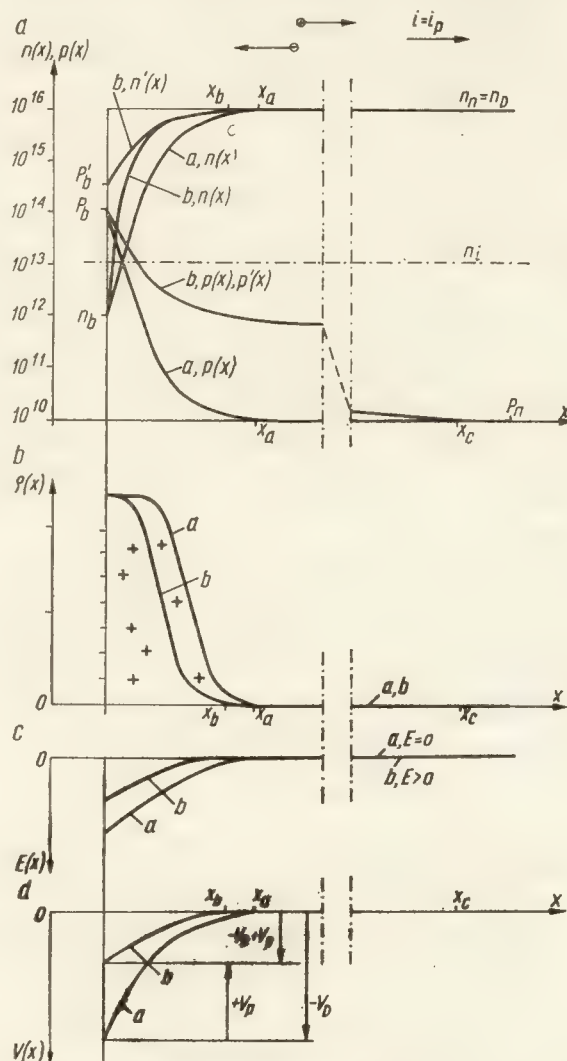
Przy wytwarzaniu styku pewna ilość elektronów przechodzi z półprzewodnika do metalu, dlatego, że siły wiążące elektrony w metalu są większe niż analogiczne siły w półprzewodniku. Mówiąc inaczej, energia elektronów w paśmie przewodzenia w strefie przystykowej półprzewodnika jest wyższa niż energia elektronów przewodzenia w metalu znajdujących się na najwyższych zajętych poziomach pasma przewodzenia (rys. 17). Różnicę tych energii nazywa się również pracą wyjścia elektronu z metalu do półprzewodnika. Jest ona równa energii, jaką trzeba by dostarczyć elektronowi w metalu, aby mógł on się przedostać do półprzewodnika.

Po przejściu elektronów do metalu w warstwie przystykowej półprzewodnika obniżona zostaje koncentracja elektronów (rys. 8). Występująca przy tym najniższa koncentracja na samym brzegu półprzewodnika oznaczona symbolem n_b zależy od różnicy energii elektronów przewodzenia w półprzewodniku i w metalu oraz od temperatury, a nie zależy od koncentracji elektronów w półprzewodniku (n_n).

Gdy energia elektronów w metalu jest wyższa niż w półprzewodniku, to elektrony przechodzą z metalu do półprzewodnika i w warstwie przystykowej wystąpi podwyższenie koncentracji elektronów przewodzenia. Przypadek ten z punktu widzenia przewodności styku jest mało interesujący, gdyż ma mały wpływ na przewodność całego obwodu.

Niezależnie od tego elektrony z nie w pełni obsadzonego pasma walencyjnego półprzewodnika przechodzą do pasma walencyjnego metalu, czyli — jak to przyjęliśmy — dziury przechodzą z metalu do półprzewodnika i podwyższają koncentrację dziur w strefie przystykowej. Na brzegu wystąpi koncentracja $p_b > p_n$.

Przechodzenie elektronów z półprzewodnika do metalu zostaje zahamowane na skutek przeciwdziałania



Rys. 8. Styk półprzewodnika typu n z metalem w stanie bezprądowym (krzywe a) i przy przepływie prądu przewodzenia i_p (krzywe b)

a — koncentracje nośników ładunków w strefie przystykowej półprzewodnika, b — gęstość ładunku przestrzennego w strefie przystykowej, c — natężenie pola elektrycznego w strefie przystykowej, d — potencjały elektryczne w strefie przystykowej

sił od wytworzonego pola elektrycznego i w ten sposób dochodzi się do stanu równowagi. W dowolnym przekroju półprzewodnika x występuje ładunek elektryczny o gęstości $\rho(x)$, $\rho(x) = [n_D^+ + p(x) - n(x)] \cdot e$, tj. różnica sumy ładunków dodatnich D^+ i dziur i elektronów przewodzenia. Z rysunku 8a widać, że $\rho(x)$ w pobliżu $x=0$ nie zależy od koncentracji $p(x)$ i $n(x)$ i równa się w przybliżeniu $n_D^+ \cdot e$. Natomiast w dalszych przekrojach praktyczne znaczenie ma tylko $n(x)$, gdyż $p(x) \ll n(x)$. Występujące w przekroju x pole elektryczne $E(x)$ wywołuje ruch elektronów w prawo, a dziur w lewo.

Jak to już wykazano, w półprzewodnikach wszystkie elektrony przewodzenia mają w przybliżeniu te same masy efektywne i ruchliwości i stąd gęstość przepływu $n(x)$ elektronów pod wpływem $E(x)$ wynosi

$$s_n E = n(x) \cdot v_{drf} = -n(x) \mu E(x) \quad (8)$$

Jednocześnie na skutek zmiennej koncentracji elektronów występuje przepływ elektronów pod wpływem sił dyfuzji w lewo. Gęstość przepływu elektronów od sił dyfuzji wynosi

$$s_n D_{yf} = -D_n \cdot \frac{d}{dx} n(x) \quad (9)$$

gdzie D_n jest stałą dyfuzji elektronów.

Dla wielkości kierunkowych $E(x)$ i s znak plus oznacza kierunek rosnących x , czyli w prawo, a znak minus kierunek w lewo.

W stanie równowagi $s_n E + s_n D_{yf} = 0$. Z tego warunku po rozwiązaniu równań (8) i (9) otrzymujemy

$$E(x) = -\frac{d}{dx} V(x) = -\frac{D_n}{\mu_n} \frac{d}{dx} \ln n(x) \quad (10)$$

a przyjmując, że $V(\infty) = 0$ (potencjał w głębi półprzewodnika), otrzymujemy

$$V(x) = \frac{D_n}{\mu_n} \ln \frac{n(x)}{n_n} \quad (11)$$

Uwzględniając, że dla $x=0$ $n(0) = n_b$ otrzymujemy, że

$$V(0) = V_D = \frac{D_n}{\mu_n} \ln \frac{n_b}{n_n} \quad (12)$$

gdzie V_D jest różnicą potencjałów w strefie przystykowej półprzewodnika i nosi nazwę napięcia dyfuzji.

Ze wzoru (12) wynika, że napięcie dyfuzji V_D nie zależy od kształtu krzywej $n(x)$, a tylko od koncentracji n_n i n_b .

Ponieważ w rozpatrywanym przypadku $n_b < n_n$, stąd V_D jest ujemne, czyli metal uzyskuje potencjał ujemny w stosunku do potencjału w głębi półprzewodnika, co jest zresztą oczywiste, gdyż elektrony przeszły do metalu. Z równania (11) widać, że potencjał $V(x)$ jest proporcjonalny do $\ln n(x)$, a więc krzywa $V(x)$ jest podobna do krzywej $n(x)$ w skali logarytmicznej, jak to przedstawiono na rysunku 8.

Przeprowadzając analogiczne rozważania dla dziur, tj. określając $s_p E$ i $s_p D_{yf}$ otrzymujemy

$$V(x) = \frac{D_p}{\mu_p} \ln \frac{p_n}{p(x)} \text{ i } V_D = \frac{D_p}{\mu_p} \ln \frac{p_p}{p_n} \quad (14)$$

Z porównania wzorów (12) i (14) wynika, że

$$\frac{V(x)}{V_D} = \frac{\ln \frac{n(x)}{n_n}}{\ln \frac{n_b}{n_n}} = \frac{\ln \frac{p_n}{p(x)}}{\ln \frac{p_n}{p_b}}$$

czyli, że $n(x) \cdot p(x) = n_n \cdot p_n = n_b \cdot p_b$. Tak więc w stanie bezprądowym iloczyn koncentracji obu rodzajów nośników jest stały i jak wiemy równy n_i^2 . Z zależności tej wynika wniosek, że gdy występuje zubożenie jednego rodzaju nośników, np. n , to jednocześnie występuje wzbogacenie drugiego rodzaju nośników, czyli p . Z podanej interpretacji wynika, że styk metalu z półprzewodnikiem, tak samo zresztą jak styk dwóch metali, możemy traktować w pewnym stopniu jak ogniwo elektryczne, w którym generacyjnymi siłami są siły dyfuzji działające na nośniki ładunków i które w stanie bezprądowym są równoważone przez siły od pola elektrycznego występującego w styku. Dla warunków przyjętych na rysunkach 8 i 10 napięcie dyfuzji złącza V_D w temperaturze $T = 300$ K wynosi ok. 0,24 V.

Napięcie dyfuzji (o wartości $-V_D$) jest wynikiem występowania w styku pola elektrycznego wywołanego przestrzennym ładunkiem elektrycznym w strefie przystykowej i przeciwnego znaku ładunkiem powierzchniowym na styku metalowym. Natomiast siły dyfuzji nośników w strefie przystykowej (siły generacyjne) wytwarzają SEM styku, która w stanie bezprądowym jest równa napięciu dyfuzji ale jest skierowana przeciwnie. Wartość $SEM = -(-V_D) = +V_D$. SEM podobnie jak V_D nie zależy od kształtu krzywych $n(x)$ i $p(x)$, a tylko od maksymalnej i minimalnej koncentracji nośników.

2.2. Styk półprzewodnika typu n z metalem przy przepływie prądu

Przy interpretacji zachodzących tu zjawisk założono, że potencjał styku metalowego zostaje podwyższony, względnie obniżony bez zmiany potencjału w głębi półprzewodnika. Bliższe wyjaśnienia dotyczące realizacji zmian potencjałów będą podane w p. 4.

We wszystkich dalszych rozważaniach przyjęte symbole oznaczające różnice potencjałów (napięcia) mają wartości dodatnie, a ich biegunowości uwzględniano przez stosowanie znaku plus lub minus, w zależności od wzajemnego ich uszeregowania.

a) Zjawiska zachodzące po przyłożeniu napięcia w ten sposób, że potencjał styku metalowego zostaje podwyższony (rys. 8, krzywe b).

Podwyższając ujemny potencjał styku metalowego o potencjał V_p i utrzymując jednocześnie bez zmiany potencjał zerowy w głębi półprzewodnika powodujemy, że różnica potencjałów w strefie przystykowej maleje z wartości $-V_D$ do wartości $-V_D + V_p$. Tym samym więc pole elektryczne i siła przez nie wywierana na nośniki ładunków maleją, co przy niezmięnionej na razie sile dyfuzji wywoła przewagę ruchów od sił dyfuzji tak, że elektrony popłyną w lewo a

dziury w prawo. Jednocześnie musi wystąpić w strefie przystykowej obniżenie ładunku przestrzennego wywołującego różnicę potencjałów w tej strefie, co jest możliwe tylko przez przesunięcie początku obniżania się koncentracji elektronów z przekroju x_a do x_b . Zakładając fikcyjny przypadek, że przy występowaniu napięcia $-V_D + V_p$ prąd nie płynie, tzn., że ruchy nośników od pola elektrycznego i od siły dyfuzji wzajemnie się kompensują i uwzględniając, że w przekroju x_b zanika ładunek przestrzenny, wyliczamy wartość fikcyjnej koncentracji brzegowej elektronów n_b' wg wzoru (12) przyjmując zamiast $-V_D$ napięcie $-V_D + V_p$ i zamiast $n_b - n_b'$ oraz wartość koncentracji dziur w przekroju x_b wg wzoru (14), przyjmując zamiast p_n koncentrację $p'x_b$. Na rysunku 8a zaznaczono orientacyjny przebieg fikcyjnych koncentracji $n'(x)$ i $p'(x)$. Rzeczywisty przebieg $n(x)$ i $p(x)$ w stosunku do przypadku fikcyjnego powinien ulec takiej zmianie, aby ruch elektronów odbywał się w lewo a ruch dziur w prawo, czyli musi wystąpić przewaga ruchów od sił dyfuzji nad ruchami od pola elektrycznego. Zamiast koncentracji n_b musi wystąpić n_b , która jest niezależna od przepływu prądu, czyli taka jak w stanie bezprądowym. Z równania (8) wynika, że

$$s_{nDyf}(x) = -D_n \frac{d}{dx} n(x) = -D_n n(x) \frac{d}{dx} \ln n(x),$$

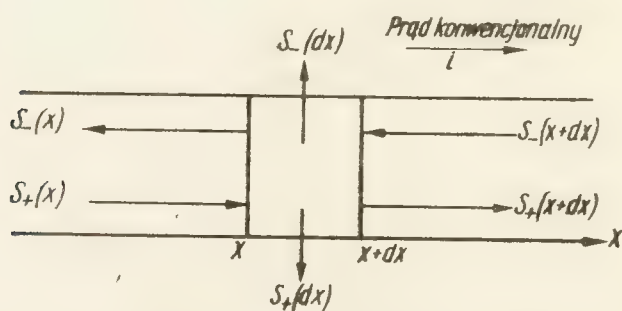
$$\text{zaś } s_{nE} = -n(x) \mu_n E(x)$$

czyli zarówno prąd od sił pola elektrycznego, jak i od sił dyfuzji jest proporcjonalny do koncentracji nośników $n(x)$ względnie $p(x)$. Z zależności tej wynika, że określony wzrost $s_{nDyf}(x)$ przy dużych wartościach $n(x)$ uzyskuje się przy stosunkowo bardzo małych

zmianach $\frac{d}{dx} \ln n(x)$, a więc przy dużych $n(x)$ krzy-

wa $n(x)$ w skali logarytmicznej praktycznie nie różni się od krzywej $n'(x)$. Dopiero przy znacznie obniżonych wartościach $n(x)$ krzywa $n(x)$ przebiega wyraźnie bardziej stromo (rys. 8a).

Dla oceny jakiej zmiany powinna ulec krzywa $p(x)$ w stosunku do $p'(x)$ musimy uwzględnić zjawisko zanikania par nośników w strefie przystykowej, gdzie $p_n > n^2$. Dla lepszego zilustrowania tego zjawiska na rysunku 9 przedstawiono schematycznie przepływ nośników ładunków w strefie podwyższonych koncentracji nośników. Z rysunku 9 widać, że gęstości przepływu dziur i elektronów na swej drodze maleją. Oznacza to, że prąd umowny (ruch ła-



Rys. 9. Schemat zaniku par nośników w kryształ

dunków dodatnich) od ruchu dziur na drodze od $x=0$ do $x=x_c$ maleje, a prąd od ruchu elektronów rośnie tak, że prąd całkowity nie ulega zmianie. Ponieważ prąd od przepływu dziur jest wielokrotnie mniejszy od prądu wywołanego ruchami elektronów (dla warunków wg rys. 8 w głębi półprzewodnika 10^6 razy mniejszy, a dla $x=0$ około 10^3 razy mniejszy), stąd zanikanie dziur powoduje, że prąd dziur zanika stosunkowo bardzo szybko, co osiąga się przy bardzo nieznacznym zwiększeniu stromości krzywej $p(x)$ w stosunku do krzywej $p'(x)$. Na rysunku 8a przyjęto jednakowy przebieg obu krzywych. Zanikanie elektronów, a więc maleńie prądu elektronów w stosunku do wartości tego prądu jest pomijalnie małe. Obniżanie koncentracji dziur od przekroju x_b do przekroju x_c przebiega liniowo. Na całej drodze $x_b x_c$ występuje zanikająca przewaga rekombinacji nad generacją par nośników. W przekrojach $x > x_c$ przepływ zarówno elektronów jak i dziur odbywa się tylko pod wpływem pola elektrycznego. Pole to w stosunku do pola w strefie przystykowej jest bardzo małe i w skali rysunku 8c niewidoczne. Pole to musi być dodatnie, gdyż musi wywołać przepływ prądu w prawo. Kierunek prądu wynika zawsze z bieguno-wości przyłożonego napięcia V_p . Symbol napięcia V_p nawiązuje do oznaczeń stosowanych w diodach, gdzie przez V_p oznacza się napięcie wywołujące przepływ prądu przewodzenia diody. Przy przepływie prądu przewodzenia wartość SEM styku nie ulega zmianie (efekt zmienionych sił dyfuzji jest taki sam, jak w stanie bezprądowym), natomiast maleją siły od pola elektrycznego, a tym samym różnica potencjałów w strefie przystykowej maleje z wartości $-V_D$ do wartości $-V_D + V_p$. Przez analogię do ogniwa, w którym $SEM - U_z = Ri$ lub $SEM + U_w = Ri$, gdzie U_z jest napięciem zewnętrznym ogniwa, a U_w napięciem wewnętrznym ($U_z = -U_w$), otrzymujemy

$$Ri = -(-V_L) + (-V_D + V_p) = V_p.$$

Tak więc napięcie V_p jest odpowiednikiem spadku napięcia na oporze wewnętrznym ogniwa przy pobieraniu prądu z ogniwa.

- b) Zjawiska zachodzące po przyłożeniu napięcia w ten sposób, że ujemny potencjał styku metalowego zostaje obniżony (rys. 10, krzywe b).

Obniżając potencjał styku metalowego z wartości $V_D < 0$ o potencjał V_{zap} i utrzymując jednocześnie bez zmiany zerowy potencjał w głębi półprzewodnika uzyskujemy podwyższenie różnicy potencjałów w strefie przystykowej z wartości $-V_D$ do wartości $-(V_D + V_{zap})$. Takie zwiększenie napięcia w strefie przystykowej można uzyskać tylko przez wydłużenie zasięgu obniżonych koncentracji elektronów. Początek obniżania koncentracji przesunę się z przekroju x_a do x_b . Podwyższenie napięcia jest jednoznaczne z podwyższeniem natężenia pola elektrycznego, co przy na razie niezmiennym przebiegu krzywej $n(x)$ i $p(x)$ spowoduje, że wystąpi przewaga ruchów nośników od pola elektrycznego nad ruchami od sił dyfuzji, czyli elektrony popłyną w prawo, a dziura w lewo, a więc prąd konwencjonalny w lewo.

Analogicznie do przypadku poprzedniego, wyznaczmy dla fikcyjnego przypadku, tj. gdy różnica potencjałów wynosi $-(V_D + V_{zap})$, a prąd nie płynie,

koncentrację brzegową n'_b i koncentrację $p'x_b$ w przekroju x_b . Rzeczywiste koncentracje $n(x)$ i $p(x)$ w stosunku do $n'(x)$ i $p'(x)$ muszą ulec takiej zmianie, aby popłynął prąd od przewagi ruchów od pola elektrycznego nad ruchami od sił dyfuzji, tj. w lewo. Odpowiednie krzywe zaznaczono na rysunku 10a (krzywe b). Na skutek przewagi w całej strefie przystykowej generacji nad rekombinacją par nośników $p(x) \cdot n(x) < n_i^2$ gęstość przepływu elektronów przewodzenia w prawo narasta na całej drodze od $x = 0$ do $x = x_c$ na skutek odprowadzania w nadmiarze generowanych elektronów i tak samo gęstość przepływu dziur w lewo narasta na drodze od $x = x_c$ do $x = 0$.

Taka zmienność przepływu nośników zapewnia, że prąd konwencjonalny na całej drodze jest stały. Symbol przyłożonego napięcia V_{zap} nawiązuje do oznaczeń stosowanych przy diodach, gdzie przez V_{zap} oznacza się napięcie zaporowe diody.

Przy przepływie prądu wstecznego w styku występuje niezmienniona SEM, a różnica potencjałów w styku rośnie z wartości $-V_D$ do wartości $-(V_D + V_{zap})$. Przez analogię do ładowanego ogniwa ($SEM + U_w$) = $= Ri$ otrzymujemy

$$Ri = -(-V_D) + (-V_D - V_{zap}) = -V_{zap}$$

Znak minus oznacza, że prąd i jest ujemny, tzn. ma kierunek taki, jak V_D i V_{zap} i przeciwny niż SEM. V_{zap} jest odpowiednikiem spadku napięcia w ładowanym ogniwie.

Opisane zjawiska występują oczywiście w styku, w którym koncentracje nośników zostają obniżone. Przypadek podwyższenia koncentracji nie ma praktycznego znaczenia. Ze względu na ograniczoną objętość publikacji zjawiska zachodzące w styku metalu z półprzewodnikiem typu p zostaną naświetlone tylko skrótowo.

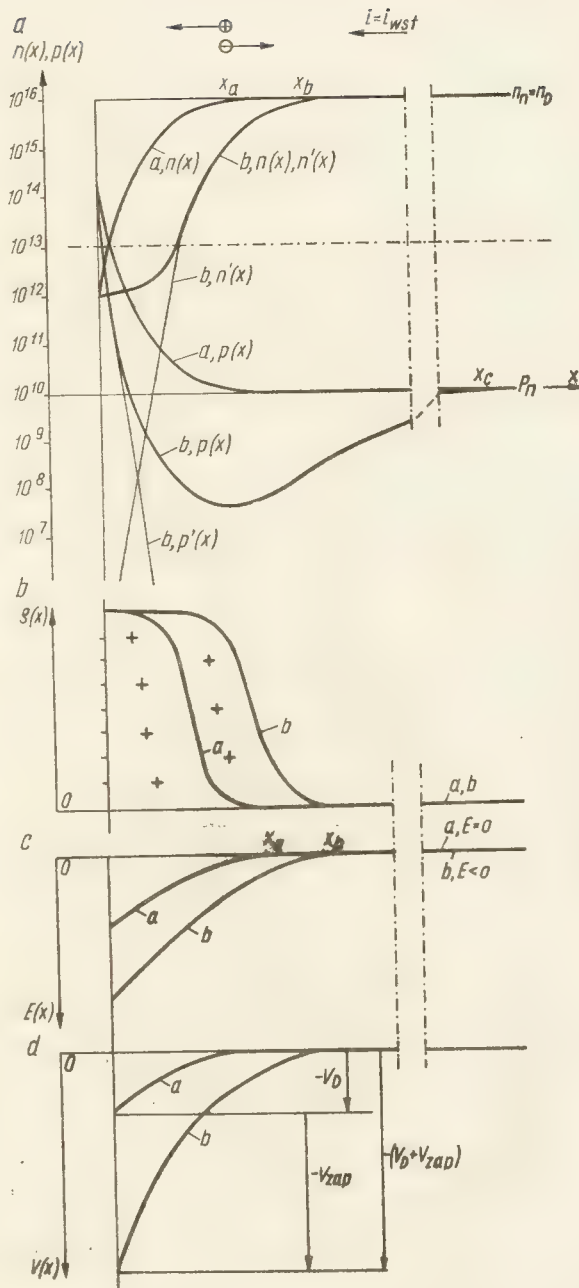
Przy wytwarzaniu takiego styku dla takich samych warunków, jak to przyjęto na rysunku 8 i 10, tj. gdy $p_p = n_n$ i $n_p = p_n$ i występują te same koncentracje brzegowe n_b i p_b , wielkości kierunkowe mają kierunki przeciwne, a wielkości skalarne mają znak przeciwny niż przy styku z materiałem n .

Diury przechodzą do metalu, ładunek przestrzenny jest ujemny, natężenie pola ma kierunek w prawo, napięcie dyfuzji jest dodatnie (metal uzyskuje potencjał dodatni). Analogicznie do wzoru (12) przy materiale p mamy

$$V_D = \frac{D_p}{\mu_p} \ln \frac{p_p}{p_b}$$

Z porównania wartości wg tego wzoru i wzoru (12) wynika, że V_D przy materiale p jest 2 razy mniejsze, niż przy materiale n . Dla założonych warunków

		10^{16}	
V_D (materiał p)	$\ln$	$\frac{p_p}{p_b}$	
		10^{14}	2
		10^{16}	4
		10^{12}	
V_D (materiał n)	$\ln$	$\frac{n_p}{n_b}$	



Rys. 10. Styk półprzewodnika typu n z metalem w stanie bezprądowym (krzywe a) i przy przepływie prądu wstecznego i_{wst} (krzywe b)

a — koncentracja nośników ładunków, b — gęstość ładunku przestrzennego, c — natężenie pola elektrycznego, d — potencjały elektryczne

Stan przewodzenia takiego styku wytwarza się tak samo, jak przy styku z materiałem n , tj. przez obniżenie różnicy potencjałów w strefie przystykowej, zaś stan zaporowy uzyskuje się przez podwyższenie napięcia V_D o V_{zap} . Podane informacje będą potrzebne przy analizie zjawisk występujących w diodzie półprzewodnikowej.

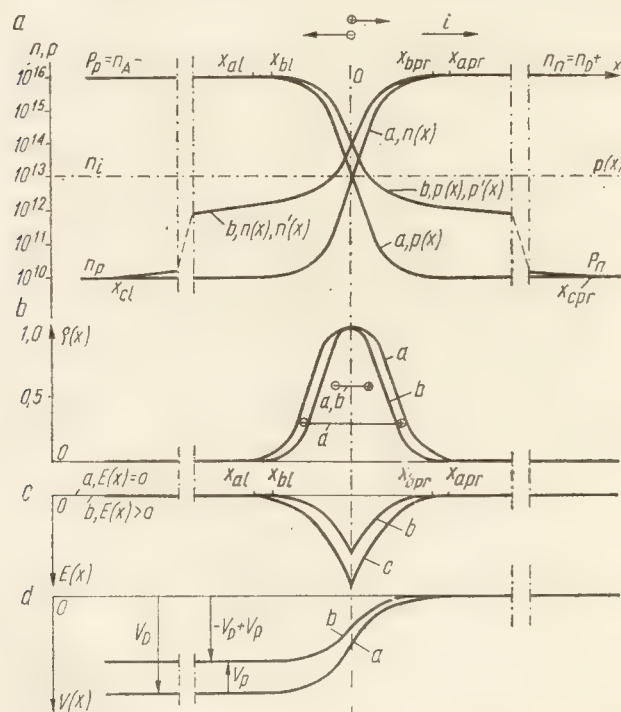
W zakończeniu omawiania styków metalu z półprzewodnikami należałoby dodać, że przy pewnych założeniach upraszczających można wyprowadzić wzory określające przybliżone wartości prądów przewodzenia i prądów wstecznych, gdy dane są odpowiednie dane dla półprzewodnika i metalu oraz napięcia V_p i V_{zap} .

3. ZŁĄCZE p-n

Złącze p-n jest to jednorodny kryształ półprzewodnikowy, a nie jakby to sugerowała sama nazwa, styk dwóch różnych kryształów. Do jednej połowy kryształu złącza dodaje się pierwiastki donorowe, a do drugiej pierwiastki akceptorowe, najczęściej stosując procesy dyfuzji. Tak więc w środku kryształu jest przejście z kryształu typu n na typ p .

3.1. Złącze p-n symetryczne w stanie bezprądowym (rys. 11, krzywe a)

W takim złączu koncentracja dziur w materiale p jest równa koncentracji elektronów w materiale n czyli $p_p = n_n$. Oznacza to, że koncentracja domieszek akceptorowych n_A i donorowych n_D są jednakowe w obu połowkach, a w samym przejściu raptownie zanikają. W przykładzie przedstawionym na rysunku 11 koncentracje domieszek w kryształach germanu wy-



Rys. 11. Złącze p-n, krzywe a w stanie bezprądowym, krzywe b przy przepływie prądu przewodzenia

a — przebieg zmienności koncentracji nośników wzdłuż złącza, b — gęstość ładunków przestrzennych w złączu, c — natężenie pola elektrycznego wzdłuż złącza, d — rozkład potencjałów wzdłuż złącza

noszą: domieszki donorowe (arsen) 10^{16} , domieszki akceptorowe (ind) 10^{16} , a stąd $p_p = n_n = 10^{16}$ (nośniki mniejszościowe są pomijalnie małe). W stanie równowagi termicznej obowiązuje zależność $p \cdot n = n_i^2$. Dla germanu w normalnych temperaturach $n_i \approx 10^{13}$, a stąd $n_p = p_n = 10^{10}$. Zmienne koncentracje nośników w złączu (rys. 11) wytwarzają się w sposób następujący. Na przejściu z materiału p do materiału n występują z jednej strony bardzo duże koncentracje nośników większościowych, a z drugiej strony bardzo małe koncentracje tego samego rodzaju nośników ($p_p : p_n = 10^6$). Tak więc na przejściu występują bardzo duże siły dyfuzji, które powodują, że koncentracje nośników większościowych przechodzą na

drugą stronę podwyższając występujące tam koncentracje nośników mniejszościowych. Jednocześnie z obu stron przekroju zerowego występują przeciwne przestrzenne ładunki elektryczne, które wywołują pole elektryczne hamujące dalsze przechodzenie nośników, doprowadzając do wytworzenia stanu równowagi. Zmiany koncentracji wzdłuż złącza muszą być takie, aby $n(x) \cdot p(x) = n_i^2$. W materiale p wystąpi nadmiar ładunku ujemnego, bo $n_A - n(x) > p(x)$ a w materiale n wystąpi nadmiar ładunków dodatnich, gdyż $n_D + p(x) > n(x)$.

Na rysunku 11 przedstawiono przebieg zmienności koncentracji nośników $n(x)$ i $p(x)$, gęstość ładunków przestrzennych $q(x)$, natężenia pola elektrycznego $E(x)$ i potencjał elektryczny $V(x)$. Krzywe odnoszące się do stanu bezprądowego oznaczono symbolem a . Analogicznie, jak przy omawianiu zjawisk na styku metalu z półprzewodnikiem, wychodząc z gęstości przepływu nośników pod wpływem pola elektrycznego i sił dyfuzji i zakładając, że potencjał w głębi półprzewodnika n jest równy 0 ($V \infty = 0$), otrzymujemy następujące zależności:

$$V(x) = \frac{D_n}{\mu_n} \ln \frac{n(x)}{n_n} \quad (15)$$

$$\text{dla } x = -\infty \quad n(-\infty) = n_p \quad \text{i} \quad V(-\infty) = V_D = \frac{D_n}{\mu_n} \ln \frac{n_p}{n_n} \quad (16)$$

a rozpatrując ruchy dziur otrzymujemy

$$V(x) = \frac{D_p}{\mu_p} \ln \frac{p_n}{p(x)} \quad (17)$$

$$\text{i} \quad V(-\infty) = V_D = \frac{D_p}{\mu_p} \ln \frac{p_n}{p_p} \quad (18)$$

Ze wzorów 15—18 wynika, że

$$\frac{n(x)}{n_n} = \frac{p_n}{p(x)} \quad \text{czyli} \quad n(x) \cdot p(x) = p_n \cdot n_n = n_p \cdot p_p = \text{const} = (n_i^2)$$

a więc znany warunek równowagi termicznej.

Ze wzorów (16) i (18) wynika, że napięcie dyfuzji złącza nie zależy od kształtu krzywych obrazujących koncentracje nośników, a tylko od stosunku koncentracji nośników większościowych do mniejszościowych. Z tej zależności wynika, że napięcie dyfuzji nie zależy od sposobu zanikania domieszek w złączu, tzn. czy zanikają one raptownie w przekroju zerowym, czy stopniowo. Natomiast sposób zanikania domieszek ma bardzo istotne znaczenie dla wielkości natężenia pola elektrycznego w złączu.

Wartość różnicy potencjałów występujących w złączu określa zależność $V = \int_{x_{al}}^{x_{apr}} -E(x) \cdot dx$.

Z zależności tej łatwo wywnioskować, że przy tej samej wartości dopuszczalnego natężenia pola elektrycznego w

złącza, wydłużając strefę ładunków przestrzennych uzyskujemy możliwość podwyższenia dopuszczalnych napięć zaporowych złącza (porównaj p. 3.2.b). Wydłużenie stref ładunków przestrzennych wywołuje jednak zwiększenie strat energii na rezystancji złącza przy przepływie prądu przewodzenia. Tak jak przy styku półprzewodnika z metalem, tak i tu napięcie dyfuzji równa się różnicy potencjałów w złączu wytwarzanych przestrzennymi ładunkami elektrycznymi. Siły dyfuzji (siły generacyjne) wywołują SEM złącza, której wartość bezwzględna równa się napięciu dyfuzji w stanie bezprądowym, ale ma znak przeciwny. Wartość SEM równa się $-(-V_D) = +V_D$.

3.2. Złącze p-n przy przepływie prądu

a) Zjawiska występujące przy ubiegunowieniu złącza w kierunku przewodzenia (rys. 11, krzywe b)

Ubiegunowienie złącza w kierunku przewodzenia uzyskujemy w ten sposób, że potencjał materiału p z $(-V_D)$ podwyższamy o potencjał V_p do nadal ujemnej wartości, utrzymując jednocześnie potencjał zerowy materiału n. Jak to się realizuje podano w p. 4.

Napięcie w strefie ładunków przestrzennych w stanie bezprądowym o wartości $-V_D$ zostaje obniżone do wartości $-V_D + V_p$. Dla wytworzenia zmniejszonego napięcia potrzebny jest mniejszy ładunek przestrzenny, co uzyskuje się przez przesunięcie początków obniżania się koncentracji nośników większościowych z przekrojów x_{cl} do x_{bl} i z x_{apr} do x_{bpr} , jak to pokazano na rysunku 11a. Krzywe koncentracji przesuwają się ku środkowi złącza. Podobnie jak przy omawianiu styku metalu z półprzewodnikiem określamy koncentracje elektronów dla $x = x_{bl}$ i koncentrację dziur dla $x = x_{bpr}$ dla fikcyjnego przypadku, gdy różnica potencjałów wynosi $-V_D + V_p$ a prąd nie płynie, uwzględniając przy tym, że w przekrojach x_{bl} i x_{bpr} znikają ładunki przestrzenne. Z przeliczeń otrzymujemy:

$$n'(x_{bl}) = n_p e^{\frac{\mu_n}{D_n} \cdot V_p} \quad (19)$$

$$p'(x_{bpr}) = p_n e^{\frac{\mu_p}{D_p} \cdot V_p} \quad (20)$$

Ze wzorów (19) i (20) wynika, że koncentracje nośników mniejszościowych w przekrojach x_{bl} i x_{bpr}

$$\frac{\mu}{D} \cdot V_p$$

zostają podwyższone $e^{\frac{\mu}{D} \cdot V_p}$ razy. W przybliżeniu przyjęto, że przebieg koncentracji przy przepływie prądu będzie taki sam.

Biorąc pod uwagę, że w przekrojach x_{bl} i x_{bpr} zanika ładunek przestrzenny, np. dla x_{bl} otrzymujemy $p(x) = n_A + n(x)$ a stąd po zrózniczkowaniu

$$\frac{d}{dx} p(x) = \frac{d}{dx} n(x), \text{ czyli pochylenie krzywych } p(x) \text{ i } n(x) \text{ jest jednakowe (na rysunku 11a dla krzywej$$

$p(x)$ w skali logarytmicznej jest to niewidoczne). Jednakowe pochylenie tych krzywych powoduje, że prądy

$$i_p Dyf = (+e) \cdot \frac{d}{dx} Dp \cdot p(x) \text{ i } i_n Dyf = (-e) \cdot$$

$$\frac{d}{dx} Dn \cdot n(x) \text{ w przybliżeniu wzajemnie się znoszą, gdyż } Dn \text{ i } Dp \text{ dla danego półprzewodnika mają wartości zbliżone. } i_{pDyf} \text{ oznacza składową wypadkową prądu pochodzącą od ruchu dziur pod wpływem dyfuzji a } i_{nDyf} \text{ analogiczny prąd od ruchu elektronów. Prąd od ruchu elektronów pod wpływem pola elektrycznego ze względu na bardzo małe wartości } n(x_{bl}) \text{ możemy pominąć, stąd przyjmujemy, że } i_{nE} = 0.$$

Ze względu na pełną symetrię złącza prąd w środku złącza musi być wywołany w połowie przez ruch elektronów i w połowie przez ruch dziur. W przybliżeniu podobne warunki występują w przekrojach x_{bl} i x_{bpr} , a stąd wynika, że dla przekroju

$$x_{bl} \quad i_{pE} + i_{pDyf} = -i \quad i_{nE} + i_{nDyf} = -i$$

Uwzględniając, że $i_{pDyf} \approx -i_{nDyf}$ i że $i_{nE} = 0$

$$\text{otrzymujemy, że } i_{pE} = i, \quad i_{pDyf} = -\frac{1}{2}i, \quad i_{nDyf} = +\frac{1}{2}i, \quad i_{nE} = 0.$$

$$\text{Analogicznie dla przekroju } x_{bpr} \text{ otrzymujemy}$$

$$i_{nE} = i, \quad i_{nDyf} = -\frac{1}{2}i, \quad i_{pDyf} = +\frac{1}{2}i, \quad i_{pE} = 0.$$

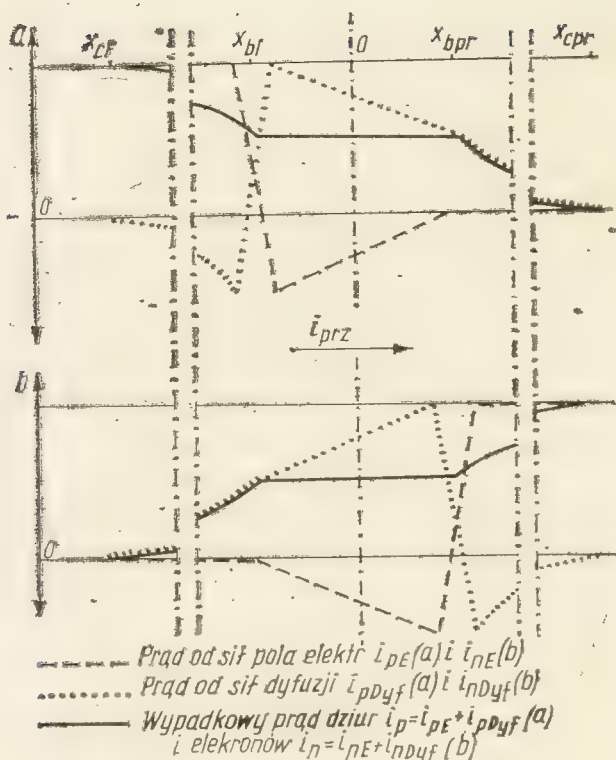
Zmienność koncentracji nośników rozciąga się aż do przekrojów x_{cl} i x_{cpr} . W przekrojach tych prąd pochodzi już wyłącznie od ruchu nośników większościowych pod wpływem panującego tu pola elektrycznego, prąd od ruchu nośników mniejszościowych jest bowiem pomijalnie mały:

$$i(x_{cl}) \approx (+e) p_p \mu_p E(x_{cl}) \approx i$$

$$\text{Analogicznie w przekroju } x_{cpr} \quad i(x_{cpr}) \approx (-e) \cdot n_n \mu_n E(x_{cpr}) \approx i$$

Tak więc prąd od ruchu dziur na drodze $x_{cl} - x_{cpr}$ zmienia się od wartości całkowitego prądu przewodzenia do zera, zaś prąd od ruchu elektronów na tej drodze narasta od zera do pełnego prądu i . Zmienność poszczególnych składników prądu całkowitego przedstawiono na rysunku 12. Z rysunku tego widać, że w strefie ładunków przestrzennych prąd pochodzi od przewagi ruchów obu rodzajów nośników pod wpływem sił dyfuzji nad ruchami od pola elektrycznego. Natomiast poza tą strefą prąd pochodzi od przewagi nośników większościowych pod wpływem pola elektrycznego nad ruchami nośników mniejszościowych pod wpływem sił dyfuzji. W strefach, gdzie są już ustabilizowane koncentracje nośników prądy pochodzą praktycznie tylko od ruchów nośników większościowych pod wpływem pola elektrycznego.

Strumienie dziur i elektronów napływające do złącza z zewnątrz zanikają prawie całkowicie na skutek przewagi rekombinacji nad generacją par nośników w strefach, gdzie występują zmienne koncen-



Rys. 12. Składowe prądu przewodzenia

a — prądy wywołane ruchami dziur, b — prądy wywołane ruchami elektronów

tracie nośników. Długość stref zanikania nośników po przejściu na drugą stronę przekroju zerowego, czyli długość tzw. ogonów zanikania nośników mniejszościowych zależy przede wszystkim od wielkości prądu przewodzenia, a więc od napięcia V_p oraz od współczynnika rekombinacji τ . Im τ jest większe, tym krótsze są ogony.

Poza strefą ładunków przestrzennych, w której występują stosunkowo duże ujemne pola elektryczne, pole elektryczne ma taki kierunek, aby prąd płynął w tym kierunku, jak to wynika z biegunowości przyłożonego napięcia V_p , tj. w prawo, a więc występuje tu pole dodatnie. Jego wartość jest jednak tak mała, że na rysunku 11c jest niewidoczna.

Pokazany na rysunku 11 przebieg zjawisk odnosi się do przypadku, gdy V_p jest w stosunku do V_D niezbyt duże (1:3). Dla dużych wartości V_p bliskich wartości V_D , a więc przy bardzo dużych prądach przebieg zjawisk znacznie odbiega od przedstawionego na rysunku 11, jak to dalej wyjaśniono.

b) Zjawiska przy ubiegunowieniu złącza w kierunku zaporowym (rys. 13, krzywe b)

Ubiegunowienie złącza uzyskujemy w ten sposób, że potencjał materiału p z ($-V_D$) obniżamy do wartości $-(V_D + V_{zap})$ utrzymując jednocześnie potencjał zerowy materiału n. (porównaj p. 4). Po przyłożeniu napięcia V_{zap} różnica potencjałów w strefie ładunków przestrzennych uzyskuje wartość $V_D + V_{zap}$, a więc ładunek przestrzenny wywołujący to napięcie musi być powiększony, co uzyskuje się przez przesunięcie na zewnątrz początków obniżania koncentracji nośników większościowych z przekrojów x_{al} do x_{bl} i z x_{apr} do x_{bpr} — krzywe obrazujące kon-

centracje nośników większościowych przesuwają się od środka na zewnątrz, tak jak to przedstawiono na rysunku 13a.

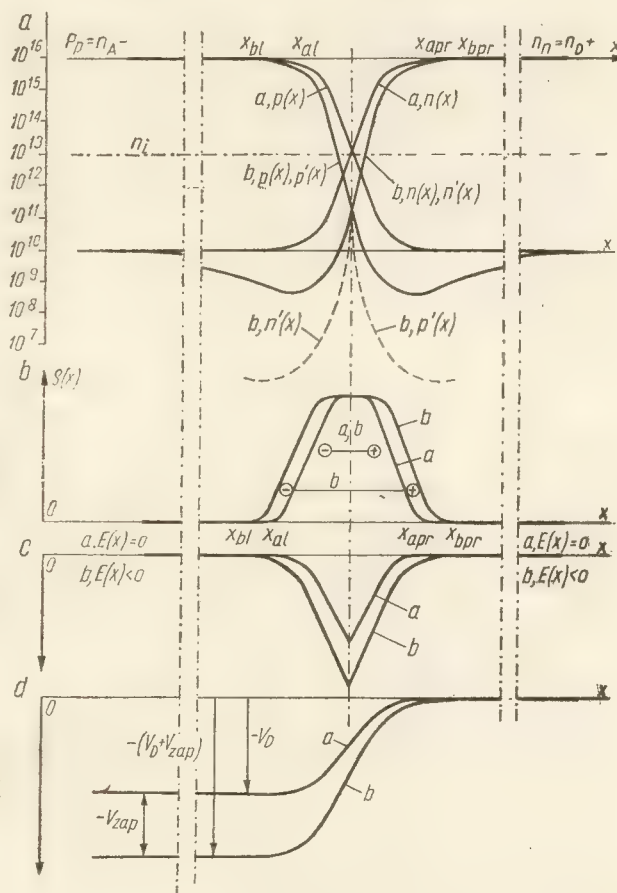
Podobnie jak dla stanu przewodzenia określamy koncentracje nośników mniejszościowych w przekrojach x_{bl} i x_{bpr} dla fikcyjnego przypadku, gdy różnica potencjałów w złączu wynosi $V_D + V_{zap}$ a prądu nie ma.

$$n'(x_{bl}) = n_p e^{-\frac{\mu_n}{D_n} V_{zap}} \quad \text{i} \quad p'(x_{bpr}) = p_n e^{-\frac{\mu_p}{D_p} V_{zap}}$$

Kierunek prądu w złączu wynika z biegunowości napięcia V_{zap} , a więc prąd w tym przypadku, tzw. prąd wsteczny ma kierunek w lewo. Rzeczywisty przebieg koncentracji nośników, w stosunku do przebiegu $n'(x)$ i $p'(x)$ musi ulec takiej zmianie, aby wystąpił przepływ prądu w lewo. Podobnie jak przy omawianiu prądu przewodzenia określimy prądy od dyfuzji w przekrojach x_{bl} i x_{bpr} , w których zanika ładunek przestrzenny. I tak w przekroju x_{bl} $p(x) =$

$$= n_A + n(x) \quad \text{a stąd} \quad \frac{d}{dx} p(x) = \frac{d}{dx} n(x), \quad \text{a więc}$$

$$\text{prądy dyfuzji } i_{pDyf} = (+e) \cdot -D_n \frac{d}{dx} p(x) \quad \text{i} \quad i_{nDyf} =$$



Rys. 13. Złącze p-n, krzywe a w stanie bezprądowym, krzywe b przy przepływie prądu wstecznego

a — zmienność koncentracji nośników wzdłuż złącza, b — gęstość ładunków przestrzennych, c — natężenie pola elektrycznego wzdłuż złącza, d — rozkład potencjałów wzdłuż złącza

$$= (-e) \cdot D_n \frac{dn}{dx} \approx n(x) \text{ w przybliżeniu wzajemnie się znoszą, } i_{pDyf} = -i_{nDyf}.$$

Ze względu na symetrię złącza w przekroju zero-
wym prąd musi pochodzić w połowie od ruchów e-
lektronów i w połowie od ruchów dziur.

Zakładając, że w przekroju x_{bl} prąd od ruchu
dziur jest jeszcze większy od $1/2 \cdot i$ i jest równy
 $\alpha \cdot i$, gdzie $\alpha > 1/2$, zaś prąd od ruchów elektronów jest
mniejszy od $1/2 \cdot i$ i jest równy $(1-\alpha) \cdot i$ to możemy
napisać:

$$i_p = i_{pE} + i_{pDyf} = \alpha i \text{ i } i_n = i_{nE} + i_{nDyf} = (1-\alpha) \cdot i$$

Uwzględniając, że $i_{pDyf} \approx -i_{nDyf}$ i że $i_{nE} = 0$ otrzy-
mujemy, że $i_p = \alpha i \rightarrow i_{pDyf} = i_{nDyf} = (1-\alpha) i$, $i_{pDyf} =$
 $= (\alpha-1) i$ a stąd $i_{pE} = i$, $i_{nE} = 0$ i analogicznie dla
przekroju x_{bpr} $i_{nE} = i$, $i_{nDyf} = (\alpha-1) i$, $i_{pDyf} = (1-\alpha) i$,
 $i_{pE} = 0$. W przekrojach x_{cl} i x_{cpr} , gdzie koncentracje
nośników osiągają wartości ustalone, prąd pochodzi
od ruchów nośników większościowych pod wpływem
pola elektrycznego (prąd od nośników mniejszości-
owych jest pomijalnie mały).

Uwzględniając podane wyżej wartości prądów od
ruchów obu rodzajów nośników pod wpływem pola
elektrycznego i sił dyfuzji w przekrojach x_{cl} , x_{bl} , o.
 x_{bpr} , i x_{cpr} na rysunku 14 naszkicowano przebieg
zmienności poszczególnych składników prądu wzdłuż
złącza. Dla uproszczenia rysunku przyjęto, że $\alpha = 1/2$.
Z rysunku tego wynika, że prawie w całej strefie ła-

dunków przestrzennych (x_{bl} x_{bpr}) prąd pochodzi od
przewagi ruchów obu rodzajów nośników pod wpły-
wem pola elektrycznego nad ruchami od sił dyfuzji.
W przyległych strefach, gdzie występują jeszcze zmien-
ne koncentracje nośników, prąd pochodzi głównie od
przewagi ruchów nośników większościowych pod
wpływem pola nad ruchami od sił dyfuzji.

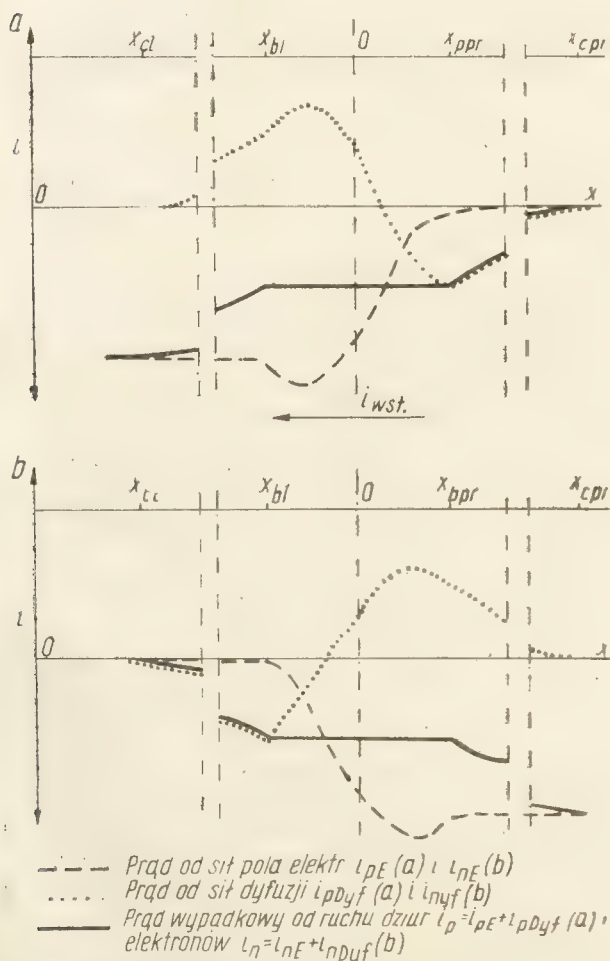
Odprowadzanie strumienia dziur narastającego od
przekroju x_{cl} do przekroju x_{cpr} oraz odprowadzanie
strumienia elektronów narastającego od przekroju
 x_{cpr} do przekroju x_{cl} jest następstwem występowania
w całej tej strefie przewagi generacji nad rekombi-
nacją par nośników, $p(x) \cdot n(x) < n_i^2$. Im dłuższa jest
strefa ładunków przestrzennych, tym większy jest
współczynnik α od $1/2$, czyli generacja par nośników
w strefie ładunków przestrzennych odgrywa coraz
większą rolę.

Poza strefami zmiennych koncentracji nośników
występuje pole elektryczne w tym kierunku, że prąd
ma kierunek wynikający z biegunowości napięcia
 V_{zap} czyli w lewo. $E(x) < 0$ tak jak i pole w stre-
fie ładunków przestrzennych.

Zwiększając coraz bardziej napięcie zaporowe do-
chodzi się do takiego stanu, że natężenie pola elek-
trycznego uzyskuje wartości wystarczające do takiego
przyspieszenia nośników, że wystąpi jonizacja zderze-
niowa i to w formie lawinowej, co na skutek wydzie-
lania się znacznych ilości ciepła doprowadza do zni-
szczenia złącza.

Zjawisko lawinowej jonizacji zderzeniowej polega
na tym, że elektron przewodzenia przy dostatecznie
dużym natężeniu pola, tzw. krytycznym polu elek-
trycznym E_{kry} w czasie między kolejnymi zderze-
niami z partnerami zderzeń zostaje tak przyspieszony,
że przy zderzeniu z fononem przekazuje atomowi
siatki energię wystarczającą do wytrącenia elektronu
walencyjnego z powiązań mostkowych i przesunięcie
go do pasma przewodzenia, czyli do wytworzenia pa-
ry nośników. Każdy nośnik wytworzonej pary zostaje
natychmiast przyspieszony i podobnie jak pierwszy e-
lektron wywołuje powstanie nowej pary nośników i
tak wytwarza się lawinowy przyrost par nośników.

Zjawiska zachodzące w strefach występowania du-
żych natężeń pól elektrycznych w półprzewodnikach
nie ograniczają się tylko do występowania jonizacji
zderzeniowej. Przy działaniu w sposób ciągły pól e-
lektrycznych elektron w kryształ zwiększa swą ener-
gię i o ile po osiągnięciu górnego poziomu pasma
walencyjnego nie zostanie odbity, co rzadko ale się
zdarza, to elektron taki nadal zwiększa swoją energię
i przyjmując wartości leżące na poziomach zabronio-
nych dochodzi do dolnego poziomu pasma przewodze-
nia: Zjawisko to nosi nazwę efektu tunelowego w
kryształach przez analogię do efektu tunelowego swo-
bodnego elektronu. Zjawisko tunelowe elektronów w
kryształach występuje wyraźnie raptownie przy natęże-
niu pola elektrycznego 10^5 - 10^6 Vcm⁻¹ i nosi nazwę
efektu Zenera. Przy nieco wyższych natężeniach pola
 E_{kry} występuje już jonizacja zderzeniowa, co łącznie
objawia się lawinowym wzrostem prądu. Początkowo
sądzono, że zjawisko Zenera jest jednoznaczne ze zja-
wiskiem przebijania izolatorów. Obecnie zjawiska te
dostatecznie zbadano, by się upewnić, że przebieg
izolatorów i prawie wszystkie uszkodzenia prostowni-
ków półprzewodnikowych powodowane są nie zjawi-
skiem Zenera, a przez lawinowy wzrost nośników wy-
wołany jonizacją zderzeniową siatki krystalicznej, tj.



Rys. 14. Składowe prądu wstecznego

a — prądy wywołane ruchami dziur, b — prądy wywołane
ruchami elektronów

wytrącenie elektronów z mostków łączących atomy siatki. Techniczne wykorzystanie efektu Zenera ma miejsce w tzw. diodach Zenera oraz w diodach tunelowych. Przy występowaniu zjawiska tunelowego przepływ nośników odbywa się praktycznie bez zderzeń, jakie występują przy normalnym przepływie elektronów w kryształach i stąd prędkości nośników uzyskują wtedy bardzo duże wartości. Tak jak to ma miejsce w styku półprzewodnika z metalem, tak i tu V_p jest odpowiednikiem spadku napięcia w ogniwie przy pobieraniu prądu z ogniwa, zaś V_{zap} przy ładowaniu ogniwa.

Porównując zjawiska występujące przy przepływie prądu przewodzenia i_{prz} i prądu wstecznego i_{wst} należy podkreślić następujące różnice:

1. Przy przepływie prądu przewodzenia doprowadzany z materiału p strumień dziur zanika prawie całkowicie na drodze $x_{cl}-x_{cpr}$ (pomijając prąd od p_n), zaś strumień elektronów dochodzący z materiału n zanika na drodze $x_{cpr}-x_{cl}$. Całkowite strumienie nośników dochodzące do złącza giną w złączu na skutek przewagi rekombinacji nośników nad ich generacją. Wielkość prądu przewodzenia może wzrastać ze wzrostem V_p prawie nieograniczenie, gdyż ilość zanikających par nośników może być dowolnie duża przez podwyższenie koncentracji nośników mniejszościowych w przekroju zerowym do wartości koncentracji nośników większościowych, a nawet wyżej, wydłużając w ten sposób ogony nośników mniejszościowych. Na rysunku 11 $n(x_{bl})$ osiąga, a nawet przekracza wartość $p(x_{bl})$ a $p(x_{bpr})$ wartość $n(x_{bpr})$. Nadmiar rekombinujących par nośników nad ilością par generowanych w całym złączu w ciągu 1 sekundy (porównaj p. 1.10.)

$$\text{wynosi } \int_{x_{cl}}^{x_{cpr}} r \cdot [p(x) n(x) - n_i^2] dx \cdot S$$

gdzie S jest przekrojem kryształu.

W naszym przykładzie (rys. 11) iloczyn $p(x) \cdot n(x)$ może maksymalnie osiągnąć a nawet przekroczyć wartość $10^{16} \cdot 10^{16} = 10^{32}$. Przyjmując uproszczające założenie, że $p(x) n(x)$ maleje w złączu liniowo od wartości 10^{32} do wartości $n_i^2 = 10^{13} \cdot 2 = 10^{26}$, to po przeliczeniach otrzymujemy, że nadmiar rekombinujących par nośników w złączu w ciągu 1 sek. wynosi

$$\frac{r \cdot S \cdot 10^{32} \cdot (x_{cl} x_{cpr})}{4} \text{ i tym samym może uzyskiwać}$$

prawie dowolne wartości. Ponieważ rekombinacja odbywa się przy wydzielaniu ciepła, stąd energia w ten sposób wydzielana plus straty energii na rezystancjach półprzewodnika i w stykach doprowadzeń może wytworzyć taki stan nagrzania złącza, że występująca jonizacja termiczna kryształu wytworzy tak duże ilości par nośników, że kryształy domieszkowe staną się praktycznie kryształami samoistnymi ($p=n=n_i$). Złącze zatracza swe własności zaporowe stając się prawie że jednolitym kryształem, co przy pracy zaporowej doprowadza do dalszego przegrzania. Zmiany strukturalne kryształu przy takim przegrzaniu powodują, że złącze po ostudzeniu nie odzyskuje już własności początkowych.

2. Przy przepływie prądu wstecznego do materiału p doprowadzany jest od strony materiału n strumień

dziur narastający od 0 w przekroju x_{cpr} do pełnej wartości w przekroju x_{cl} i dalej jest odprowadzany do źródła V_{zap} , zaś do materiału n doprowadzany jest strumień elektronów narastający stopniowo od 0 w przekroju x_{cl} do pełnej wartości w przekroju x_{cpr} , skąd jest odprowadzony do źródła V_{zap} . Narastanie strumieni nośników dzieje się na skutek przewagi generacji par nośników nad ich rekombinacją. Tutaj jednak przewaga ta ze wzrostem V_{zap} nie może być tak duża, jak wyliczona wyżej przewaga rekombinacji nad generacją. Przewaga generowanych par nośników nad ilością par rekombinujących w złączu w ciągu 1 sekundy wynosi

$$\int_{x_{cl}}^{x_{cpr}} r \cdot [n_i^2 - p(x) n(x)] dx \cdot S \quad (22)$$

(patrz rys. 13), gdzie $p(x)$ i $n(x)$ oznaczają obniżone wartości koncentracji nośników w złączu przy przepływie prądu wstecznego. Minimalna wartość iloczynu $p(x) \cdot n(x)$ przy odpowiednio dużych wartościach napięcia zaporowego może obniżyć się do rzędu $10^5 \cdot 10^5 = 10^{10}$ na nawet poniżej tej wartości. W tych warunkach nadmiar generowanych par nośników w

$$\text{przybliżeniu będzie wynosić } \frac{r \cdot S \cdot 10^{26} (x_{cl} x_{cpr})}{4}. \text{ Po-}$$

mijając różnice w długościach stref zmiennych koncentracji nośników przy przepływie prądu przewodzenia i prądu wstecznego, tj. długości odcinków $x_{cl} x_{cpr}$ otrzymujemy, że nadmiar rekombinujących par nośników przy przepływie prądu przewodzenia w stosunku do nadmiaru generowanych par nośników przy prądzie wstecznym ma się jak $10^{32} : 10^{26} = 10^6$. Podane przeliczenia stanowią fizyczny dowód, dlaczego prądy wsteczne złącz $p-n$ są tak małe w stosunku do prądów przewodzenia.

Jak to już podano, przy pracy złącza w kierunku zaporowym istnieje ograniczenie wielkości dopuszczalnych napięć zaporowych ze względu na niebezpieczeństwo wystąpienia zjawisk tunelowych i lawinowej jonizacji zderzeniowej.

Mając na uwadze, że prąd przewodzenia równa się ilości par nośników ginących w złączu w ciągu 1 sek., a prąd wsteczny równa się ilości pojawiających się nośników, możemy określić wartości tych prądów wyliczając wartości całek wg wzorów (21) i (22) dla poszczególnych wartości napięć V_p i V_{zap} . Przyjmując pewne upraszczające założenia możemy dla poszczególnych wartości napięć V_p i V_{zap} określić przebieg krzywych $n(x)$ i $p(x)$, co umożliwi rozwiązanie całek wg wzorów (21) i (22) i tym samym pozwala na określenie obliczeniowych charakterystyk złącz: $I_{prz} = f(V)$ i $I_{wst} = f(V)$.

Podawane przez producentów charakterystyki określone są na podstawie odpowiednich prób dostatecznie dużej serii wyprodukowanych elementów. Obliczenia teoretyczne i doświadczenie konstruktorskie stanowią podstawę projektowania każdego nowego typu złącza.

U w a g a — W części II w p. 1. 9. b (nr. 6/77 r.), symbol E oznacza zarówno natężenie pola elektrycznego jak i energię elektronu, która powinna być oznaczona symbolem ϵ (epsilon), tak jak to przyjęto na rys. 1 i 2. Na str. 178 w Wierszu 21 od góry powinno być (oznaczając energię przez ϵ) $\epsilon - 0 \ E^2$, w wierszu 22 — $\epsilon - iE$.

Normalizacja w służbie ZRKiŁ

Normalizacja spełnia w naszej gospodarce narodowej ważne funkcje techniczne, ekonomiczne i organizacyjne. Nie wdając się w szczegółowe rozważania tego problemu dość dobrze zresztą znanego ogółowi pracowników technicznych podkreślamy niektóre aspekty normalizacji mające szczególne znaczenie dla personelu służby zrkł przy eksploatacji, utrzymaniu, naprawach, ocenach jakościowych, badaniach doraźnych i okresowych oraz odbiorach urządzeń sterowania ruchem i łączności:

- ustalenie wymagań technicznych, którym winny odpowiadać urządzenia i systemy zrkł,
- określenie prawidłowych, jednolitych sposobów przeprowadzania badań i prób technicznych,
- ustalenie sposobu oceny prób i badań,
- umożliwienie obiektywnej oceny jakości urządzenia czy systemu,
- podanie kryteriów dla doboru urządzeń w zależności od wymagań techniczno-eksploatacyjnych oraz warunków ich pracy.

Pragnąc upowszechnić znajomość interesujących i ważnych form oraz wskazać praktyczny zakres ich wykorzystania w codziennej pracy szerokich rzesz naszych Czytelników, redakcja „Przeglądu Kolejowego Elektrotechnicznego” postanowiła systematycznie informować na łamach naszego miesięcznika o normach krajowych i zagranicznych, związanych tematycznie z problematyką sterowania ruchem kolejowym i łącznością.

Informujemy Czytelników, że egzemplarze norm uzyskać można we wszystkich komórkach normalizacji a przede wszystkim w Resortowym Ośrodku Normalizacji przy COBiRTK, Branżowym Ośrodku Normalizacji przy ZWUS Katowice, poprzez komórki informacji naukowo-technicznej i ekonomicznej oraz biblioteki techniczne.

Na początek zajmiemy się podstawowym elementem składowym nowoczesnych urządzeń sterowania ruchem kolejowym, jakim są przekaźniki.

Przekaźniki

1. Norma branżowa

Nr BN-74/9315-01

„Urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego. Przekaźniki — klasyfikacja”. W normie tej dokonano klasyfikacji przekaźników do urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego, dzieląc je według określonych cech konstrukcyjnych i właściwości techniczno-eksploatacyjnych dla odpowiedniego ich stosowania.

Duże znaczenie dla praktycznego stosowania normy mają tabelaryczne wykazy zamieszczone w informacjach dodatkowych w których podane są typy przekaźników zaliczonych do poszczególnych grup klasyfikacyjnych. Na szczególne podkreślenie zasługuje podział przekaźników według klas bezpieczeństwa decydujących o stosowaniu tych urządzeń w odpowiednich schematach urządzeń sterowania ruchem kolejowym.

W normie podano ponadto szereg określeń przekaźników, ich ele-

mentów oraz niektórych pojęć podstawowych techniki przekaźnikowej.

Znajomość tej terminologii pomocna będzie w studiowaniu literatury technicznej, innych norm oraz opisów i schematów dokumentacji technicznej elektrycznych urządzeń zrkł.

Norma powinna być ponadto stosowana przy doborze przekaźników do spełniania odpowiednich funkcji w układach elektrycznych urządzeń zrkł.

2. Norma branżowa

Nr BN-76/3506-11

„Urządzenia zabezpieczenia ruchu kolejowego. Przekaźniki — ogólne wymagania i badania”. Jest to podstawowa norma, w której ustalone zostały ogólne, główne wymagania techniczne i sposoby badania wszystkich typów i odmian przekaźników do urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego.

Norma ta powinna być powszechnie stosowana we wszystkich laboratoriach, punktach napraw i legalizacji przy okresowych próbach pełnych, próbach odbiorczych oraz wszelkich badaniach i pomiarach przekaźników.

Na podstawie opisów badań podanych w p. 5.4. normy, można ustalić niezbędne wyposażenie do przeprowadzenia pomiarów i badań.

Zamieszczone są tam również schematy pomiarowe oraz opisane sposoby przeprowadzenia badań.

Cenną informację stanowią numery i tytuły szeregu „norm związanych”, to znaczy takich, których niektóre postanowienia dotyczą przekaźników z.r.k.

3. Normy Zakładowe Zakładów Wytwórczych Urządzeń Sygnalizacyjnych w Katowicach wymienione poniżej, stanowią uzupełnienia normy branżowej BN-76/3506-11 w odniesieniu do poszczególnych typów przekaźników:

3.1. ZN-70/MK-ZWUS-0081

„Przekaźniki elektromagnetyczne wtykowe typu JRK i RK — wymagania i badania”.

3.2. ZN-77/MK-ZWUS-0090

„Przekaźniki zaciskowe typu JRB i JRC — wymagania i badania”.

3.3. ZN-70/MK-ZWUS-0091

„Przekaźniki zaciskowe typu JRG i RG 10-17 — wymagania i badania”.

3.4. ZN-70/MK-ZWUS-0092

„Przekaźniki indukcyjne tarczowe dwupołożeniowe typu JRV oraz trzypołożeniowe typu JRY — wymagania i badania”.

3.5. ZN-68/MK-ZWUS-0160

„Przekaźniki na prąd stały typu ZRV — wymagania i badania techniczne”.

3.6. ZN-69/MK-ZWUS-0100

„Przełączniki elektromagnetyczne typu RL-2 — wymagania i badania techniczne”.

Normy te zawierają postanowienia specyficzne dla odpowiednich typów przełączników, które nie mogły być w sposób ogólny podane w przedstawionej wyżej normie branżowej.

4. Dla przełączników zrk jako podstawowych elementów składowych stacyjnych i liniowych urządzeń sterowania ruchem kolejowym opracowane zostały następujące dokumenty międzynarodowe:

- 4.1. Międzynarodowy Związek Kolei (UIC) ustanowił zalecenia Nr 736 j „Przełączniki sygnałowe” trzecie, poprawione wydanie nosi datę 1.7.1974 r.

- 4.2. Organizacja Współpracy Kolei (OSZD) ustanowiła zalecenia Nr R 804 „Wymagania techniczne dla przełączników urządzeń zrk” wydane dnia 29 marca 1970 r.

Oba te dokumenty stanowią zbiór wymagań techniczno-eksploatacyjnych, którym powinny odpowiadać wszystkie przełączniki zrk a w szczególności wszystkie nowe ich konstrukcje.

Zalecamy zapoznanie się z nimi wszystkim pracownikom zatrudnionym przy badaniach, naprawach, konserwacji i eksploatacji przełączników oraz projektantom i konstruktorom urządzeń zrk.

5. Oprócz podanych wyżej norm i zaleceń dla przełączników do urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego istnieje bogaty zbiór norm międzynarodowych, polskich norm i norm branżowych dla przełączników o innych przeznaczeniach np. w energoelektryce, automatyce przemysłowej, urządzeniach teletechnicznych itp. Dla przykładu wymienimy ciekawsze pozycje norm dla przełączników, które używane są również na PKP np. w elektrycznych urządzeniach zasilających:

- 5.1. Polska Norma Nr PN-75/E-88500
arkusz 00

„Przełączniki energoelektryczne — ogólne wymagania i badania”.

- 5.2. Polska Norma Nr PN-75/E-88500
arkusz 04

„Przełączniki energoelektryczne — Przełączniki pośredniczące,

czasowe i sygnałowe — wymagania ogólne”.

- 5.3. Polska Norma Nr PN-75/E-88507

„Przełączniki pośredniczące i czasowe do automatyki przemysłowej — wymagania i badania”. (St. M.)

Informacje prasowe i wydawnicze

Burzliwy rozwój wszystkich dziedzin nauki i techniki jaki obserwujemy w ostatnich latach spowodował jako naturalną tego konsekwencję rozwój piśmiennictwa specjalistycznego. Pojawiła się w związku z tym ogromna ilość różnorodnych informacji. Ich ilość stale wzrasta i już od wielu lat stało się wręcz niemożliwe śledzenie nawet wybranych dziedzin nauki i techniki samodzielnie, w drodze studiowania literatury i wydawnictw. Ilość pozycji wydawniczych krajowych i zagranicznych chyba we wszystkich dziedzinach jest tak duża, że przekracza możliwości zapoznania się ze wszystkimi informacjami przez zainteresowane osoby. Z pomocą przyszła służba informacji naukowej, technicznej i ekonomicznej powoływana we wszystkich krajach rozwiniętych.

W Polsce działa również sprawny system informacji obejmujący Centrum Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej w Warszawie, ośrodki resortowe, branżowe, zakładowe itp.

Do gromadzenia informacji, ich segregacji, przechowywania i przekazywania zainteresowanym wykorzystuje się najnowsze środki techniczne, a szczególnie elektroniczną technikę przetwarzania danych. Powstało na świecie wiele potężnych centrów komputerowych dla celów informacji naukowej, które współpracując ze sobą tworzą system światowy.

W dziedzinie kolejnictwa ilość publikacji specjalistycznych jest również bardzo duża, a jeśli dodać do tego informacje dotyczące techniki kolejowej pochodzące z innych źródeł, to ich opracowanie lub co najmniej prześledzenie jest praktycznie niemożliwe. Na łamach naszego „Przeglądu” staramy się przekazywać Czytelnikom najciekawsze sprawy z zakresu automatyki sterowania ruchem kolejowym i łączności ale zdajemy sobie sprawę z ograniczonych możliwości.

W wydawnictwach krajowych i zagranicznych pojawia się wiele bardzo ciekawych informacji, które z pewnością zainteresować powinny szerokie rzesze naszych specjalistów w dziedzinie zrk. Chcemy pomóc naszym Czytelnikom w uzyskaniu informacji oraz wskazywać pozycje naszym zdaniem interesujące i ważne.

W resorcie komunikacji mamy sprawnie działający system informacji techniczno-ekonomicznej, gwarantujący dostęp do wszystkich wydawnictw, opracowań informacyjnych, tłumaczeń itp.

Przedstawiamy poniżej wykaz niektórych, krajowych i zagranicznych czasopism, które rekomendujemy jako źródła częstych informacji z zakresu zrk.

Czasopisma krajowe

1. „Przegląd Komunikacyjny” i wszystkie mutacje „Przeglądów Kolejowych” — stanowią podstawowe źródło informacji o zagadnieniach organizacyjnych, ekonomicznych, polityki przewozowej oraz problemach technicznych innych służb PKP, których znajomość jest często niezbędna pracownikom zrk.
2. „Przegląd Telekomunikacyjny” — podaje wiele ciekawych informacji o nowościach technicznych z zakresu urządzeń i systemów łączności, oraz obszerny i interesujący serwis wiadomości normalizacyjnych, patentowych, kronikę łączności, przegląd wydawnictw krajowych i zagranicznych itd.

3. „Przegląd Elektrotechniczny” — publikuje ciekawe artykuły o zagadnieniach z zakresu elektrotechniki, maszyn i aparatów elektrycznych, nowych metod badawczych i pomiarowych, techniki świetlnej itp.

Szereg poruszanych spraw znajdować powinno praktyczne zastosowanie w pracy służby zrkł.

4. „Wiadomości Elektrotechniczne” — dwutygodnik Stowarzyszenia Elektryków Polskich poświęcony wszystkim działom energoelektryki oraz problemom i osiągnięciom polskiego przemysłu elektrotechnicznego. Znaczną część publikacji stanowią praktyczne wskazówki eksploatacyjne i instalacyjne, informacje o nowym sprzęcie oraz ciekawych patentach.

5. „Informacja Expressowa” — bibliografia piśmiennictwa Kolejowego — wydawana przez Branżowy Ośrodek Informacji Technicznej i Ekonomicznej Kolejnictwa przy COBiRTK.

Zwracamy uwagę na szczególną przydatność tego wydawnictwa, gdyż zawiera ono zebrane w 10 rozdziałach informacje o dostępnych w kraju publikacjach w czasopismach polskich i zagranicznych, pracach naukowo-badawczych, tłumaczeniach oraz zestawieniach bibliograficznych i dokumentacyjnych. Posługując się tą „Informacją” można dokonać wyboru większości interesujących publikacji i materiałów.

6. Przegląd dokumentacyjny polskiego i zagranicznego piśmiennictwa kolejowego — opracowuje i wydaje COBiRTK.

Przegląd zawiera wybór informacji z głównych czasopism kolejowych krajowych i zagranicznych. Każda informacja stanowi krótkie streszczenie artykułu.

Omówione pozycje wydawnicze stanowią wybór małej części z bogatego programu czasopism krajowych. Należy zwłaszcza podkreślić, iż ukazuje się wiele pozycji często nieregularnie jak np. prace Wyższych Uczelni, COBiRTK, materiały na sympozja i konferencje naukowo-techniczne Organizacji NOT i inne.

O wydawnictwach tych postaramy się informować Czytelników na bieżąco.

Czasopisma zagraniczne

1. *Referatiwnyj żurnal — Żeliezno-dorożnyj transport — Awtomatika, telemechanika i swjaż — na Żelieznych dorogach.* (język rosyjski). Wydawnictwo zawiera bardzo obszerny wybór opracowań dokumentacyjnych artykułów z czasopism radzieckich i zagranicznych.

2. *Ekspress — informacja — Organizacja perewozok, Awtomatika, telemechanika i swjaż.* Na żelaznych drogach. (język rosyjski). (Express — informacja — organizacja przewozów, automatyka, telemechanika i łączność kolejowa).

Wydaje Wszechzwiązkowy Instytut Informacji Naukowo-Technicznej. Wydawnictwo zawiera tłumaczenia na język rosyjski artykułów z różnych, zagranicznych czasopism kolejowych. Znający język rosyjski mają możliwość zapoznania się z ciekawymi pozycjami literatury światowej.

3. *Awtomatika, Telemechanika i Swjaż.* (język rosyjski).

(Automatyka, telemechanika i łączność).

Jest to popularny miesięcznik wydawany przez Ministerstwo Komunikacji ZSRR.

Zawiera wiele ciekawych, praktycznych opisów systemów, urządzeń i aparatury zrkł, wiadomości o doświadczeniach przodujących pracowników w służbie utrzymania itp.

4. *Signal und Schiene.* (język niemiecki).

Czasopismo niemieckie poświęcone budowie kolei oraz problematyce zabezpieczenia ruchu i łączności na kolejach DR. (NRD).

W części dotyczącej zrkł czasopismo jest odpowiednikiem naszego Przeglądu Kolejowego Elektrotechnicznego. Szczególnie ciekawe są opisy systemów zrk oraz elementów składowych urządzeń.

5. *Radio Fernsehen — Elektronik.* (język niemiecki).

(Radio — telewizja — elektronika) — czasopismo wydawane w NRD podaje informacje o nowościach radiowo-telewizyjnych oraz wiele ciekawych artykułów o elementach elektronicznych dostępnych na rynku RWPg.

6. *Signal und Draht.* (język niemiecki) — miesięcznik wydawany w RFN, poświęcony informatyce kolejowej obejmującej technikę z.r.k., elektroniczne przetwarzanie danych w sterowaniu procesami ruchowymi, aparaturę kontrolno-pomiarową, łączność i technikę maszyn biurowych.

Czasopismo to jest jednym z podstawowych źródeł informacji o technice zrkł na kolejach DB i aparaturze wytwarzanej w RFN.

7. *Die Bundesbahn.* (język niemiecki) — miesięcznik techniczno-ekonomiczny poświęcony kolejom RFN.

8. *Rangiertechnik und Gleisanschlussstechnik.* (język niemiecki) — czasopismo RFN poświęcone technice rozrządu oraz bocznicy kolejowych.

Specjalnie polecamy tą pozycję zainteresowanym automatyzacją pracy stacji rozrządowych.

Wysoki poziom tych urządzeń na kolejach RFN oraz istnienie w tym państwie kilku wyspecjalizowanych firm produkujących aparaturę powodują, iż czasopismo zawiera aktualne, ciekawe informacje.

9. *Siemens Zeitschrift.* (język niemiecki).

Czasopismo firmy Siemens (RFN) specjalizujące się w rozwoju i produkcji między innymi systemów i urządzeń zrkł. Podaje się w nim aktualne informacje o nowościach firmy.

10. *Revue Generale des Chemins de Fer.* (język francuski).

Przegląd generalny kolei żelaznych poświęcony różnym dziedzinom techniki kolejowej, nowościom produkcyjnym.

dc. na IV okł.



Inż. Saturnin KRAWCZYK
ur. 1909 r. — zm. 1977 r.

dnia 21 lipca zmarł były wieloletni redaktor
naczelny miesięcznika „Przegląd Kolejowy
Elektrotechniczny”.

Emerytowany, długoletni dyrektor Centralnego Zarządu Zabezpieczenia Ruchu i Łączności urodzony w Warszawie w rodzinie kolejarskiej. Człowiek prawego charakteru o 39-letnim stażu pracy zawodowej w kolejnictwie i wielostronnych społecznych zainteresowaniach. Pracę na PKP rozpoczął w sierpniu 1933 r. w Warsztatach Sygnałowych w Krakowie — przechodząc od stanowiska praktykanta, zawiadowcy odcinka sygnałowego w Rzeszowie, kierownika działu zabezpieczenia ruchu pociągów i kierownika służby elektrotechnicznej w poddyrekcji Rzeszów, a następnie naczelnika służby elektrotechnicznej w DOKP Kraków. Równolegle prowadzi w Krakowie Technikum Kolejowe dla wytypowanych robotników. W latach 1952 — 1953 organizuje w Ministerstwie Kolei, Główny Inspektorat Bezpieczeństwa Ruchu oraz Inspektoraty Okręgowe przy DOKP. W kwietniu 1953 r. przechodzi na stanowisko wicedyrektora Departamentu Elektrotechnicznego. W tym czasie jest również wykładowcą na Wydziale Komunikacji Politechniki Warszawskiej.

Po reorganizacji obejmuje stanowisko zastępcy dyrektora Centralnego Zarządu Zabezpieczenia Ruchu i Łączności a następnie od marca 1960 r. — dyrektora, które pełni do czasu przejścia na emeryturę, w roku 1972. Kierowanie pracą Centralnego Zarządu Zabezpieczenia Ruchu i Łączności nie stanowiło jedynej funkcji, równolegle był członkiem Rady Techniczno-Ekonomicznej przy Ministrze Komunikacji. Zmarły — szczególne zasługi położył na odcinku rozwoju i modernizacji urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego i łączności — przyczyniając się tym samym do stałego zwiększania bezpieczeństwa ruchu w okresie dynamicznego wzrostu przewozów kolejowych. Poprzez wprowadzanie i rozwój nowoczesnych urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego i łączności spełniał zasadnicze zadania w zapoczątkowaniu szerokiego postępu technicznego i rozwoju automatyzacji urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego i łączności na sieci PKP.

Duże zasługi położył również w usystematyzowaniu zasad utrzymania urządzeń zabezpieczenia ruchu kolejowego i łączności oraz wykazywał stałą troskę o podnoszenie kwalifikacji zawodowych personelu utrzymującego te urządzenia. Dbał o sprawną i niezawodną pracę tych urządzeń. Swoje wiadomości techniczne i zdobyte doświadczenia przekazywał w wielu artykułach i publikacjach.

Jego postępowanie cechowała umiejętność współzycia i konsekwentne dążenie do osiągnięcia właściwych efektów pracy. Był pracownikiem nieustrudzonym, pełnym entuzjazmu, pogody ducha i głębokiego zrozumienia potrzeb kolejnictwa.

Dyrektor inż. Saturnin Krawczyk był aktywnym członkiem PZPR, SITKom oraz innych organizacji społecznych.

Za swój wkład w pracy zawodowej, społecznej i politycznej otrzymał wysokie odznaczenia państwowe, resortowe i wiele wyróżnień. Odznaczony był między innymi Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski, Złotym i Srebrnym Krzyżem Zasługi, Medalem 10-lecia Polski Ludowej, Srebrną Odznaką NOT.

Z głębokim i szczerym żalem żegnają Go KOLEJARZE.

E. MAZUR: **Koncepcja systemu teleinformatycznego PKP**, Prz. Kolej. E., 1977, rok 24, A4, nr 9, s. 241 — 244, rys. 2.

Artykuł ma za zadanie szersze spopularyzowanie koncepcji kolejowego systemu teleinformatycznego.

Red. Prz. Kolej. E.

A. ZAJĄCZKOWSKI: **Metody techniczne zmiany czasów działania przekazników elektromagnetycznych stosowanych w urządzeniach zrk**, Prz. Kolej. E., 1977, rok 24, A4, nr 9, s. 245 — 251, rys. 13.

Artykuł jest kontynuacją pracy rozpoczętej wcześniej na temat przekazników stosowanych w technice zabezpieczenia ruchu kolejowego.

Red. Prz. Kolej. E.

M. WRÓBLEWSKA, ST. RYSZKA: **Badania eksploatacyjne elementów izolacyjnych styków torowych z tworzyw termoplastycznych**, Prz. Kolej. E., 1977, rok 24, A4, nr 9, s. 252 — 256, rys. 5, tabl. 4.

Omówienie badań eksploatacyjnych elementów izolacyjnych styków szynowych wykonanych z tworzyw termoplastycznych oraz ocena ich przydatności w aspekcie czasu pracy, w porównaniu z izolacją tekstilową.

Red. Prz. Kolej. E.

M. BARYLUK: **Analiza częstotliwościowa dławika torowego**, Prz. Kolej. E., 1977, rok 24, A4, nr 9, s. 257 — 259, rys. 5.

Analiza pracy dławika torowego przy dowolnej częstotliwości napięcia zasilającego. Analizę przeprowadzono metodą operatorową a wyniki jej zilustrowano wykresami.

Red. Prz. Kolej. E.

K. CIANCIARA: **Złącze p-n źródło sukcesów elektroniki półprzewodników**, Prz. Kolej. E., 1977, rok 24, A4, nr 9, s. 260 — 263, rys. 7.

Rozpatrzenie zjawisk występujących w styku półprzewodnika z metalem w stanie bezprądowym.

Red. Prz. Kolej. E.

DO Czytelników „Przeglądu Kolejowego Elektrotechnicznego”

We wrześniu 1952 r. ukazał się pierwszy numer „Przeglądu Kolejowego Elektrotechnicznego”. Zadaniem jego była popularyzacja tematów związanych z pracą służby elektrotechnicznej, która wówczas zajmowała się całokształtem stosowania elektrotechniki na PKP.

W wyniku postępu technicznego w krótkim czasie elektrotechnika znalazła powszechne zastosowanie we wszystkich służbach, a służba elektrotechniczna utraciwszy swój „monopol”, zmieniła nazwę na „zabezpieczenie ruchu i łączności” jako bardziej odpowiadającą zakresowi jej działania.

Nazwa „Przeglądu Kolejowego Elektrotechnicznego” pozostała wówczas bez zmian. Na jego łamach publikowane są artykuły z dziedziny sterowania ruchem, łączności kolejowej oraz trakcji elektrycznej.

Z inicjatywy SITK i Wydawcy naszego pisma — Wydawnictw Komunikacji i Łączności — z dniem 1 stycznia 1978 roku ulegają zmianie tytuły i tematyka wszystkich „Przeglądów Kolejowych”.

Od nowego roku „Przegląd Kolejowy Elektrotechniczny” ukazywać się będzie pod zmienionym tytułem „Automatyka Kolejowa”. Czasopismo obejmować będzie zagadnienia związane ze sterowaniem ruchem kolejowym i łącznością, rozszerzony zostanie udział informatyki i dziedzin pokrewnych.

Zagadnienia trakcji elektrycznej przeniesione zostaną do miesięcznika „Trakcja i Wagony” (dotychczasowy „Przegląd Kolejowy Mechaniczny”).

REDAKCJA —

ul. Kazimierzowska 52
02-546 Warszawa, tel. 49-27-51
wewn. 241

Redaguje kolegium w składzie:

mgr inż. St. Makowski, mgr inż. Z. Mościcki (red. naczelny), mgr inż. J. Nemec, mgr inż. J. Suchodolski (z-ca red. naczelnego), inż. A. Wielądek, B. Wróblewska (sekretarz redakcji)

przy współpracy ze Stowarzyszeniem Inżynierów i Techników Komunikacji

Warunki prenumeraty:

Prenumeratę na kraj przyjmują Oddziały RSW „Prasa—Książka—Ruch” oraz urzędy pocztowe i doręczyciele, w terminach: do 25 listopada — na I kwartał, I półrocze roku następnego i cały rok następny. Do dnia 10 miesiąca poprzedzającego okres prenumeraty — odpowiednio na II kwartał, II półrocze i III kwartał. Cena prenumeraty rocznej — zł. 120, półrocznej — zł. 60, kwartalnej — zł. 30. Instytucje, organizacje i wszelkiego rodzaju zakłady pracy zamawiają prenumeratę w miejscowych Oddziałach RSW „Prasa—Książka—Ruch”, w miejscowościach zaś w których nie ma Oddziałów RSW „Prasa—Książka—Ruch” w urzędach pocztowych. Czytelnicy indywidualni opłacają prenumeratę wyłącznie w urzędach pocztowych lub u doręczycieli.

Zwracamy uwagę, że od stycznia 1978 tytuł czasopisma będzie brzmiał „Automatyka Kolejowa”. Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę przyjmuje Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw RSW „Prasa—Książka—Ruch”, ul. Towarowa 28, 00-958 WARSZAWA, konto PKO nr 1531-71, w terminach podanych dla prenumeraty krajowej. Prenumerata ze zleceniem wysyłki za granicę jest droższa od prenumeraty krajowej o 50 proc. dla zleceniodawców indywidualnych i o 100 proc. dla zlecających instytucji, organizacji i zakładów pracy.

Wydawca:

**WYDAWNICTWA
KOMUNIKACJI
I ŁĄCZNOŚCI**

ul. Kazimierzowska 52
02-546 WARSZAWA
tel. 49-27-51

Skanowanie: Artur Palka

Nakład 1.750 egz., format A-4, papier druk. sat. V kl. 65 g. ark. druk. 4,37. Opolskie Zakłady Graficzne im. J. na Łangowskiego, ul. Niedziałkowskiego 8/12, 45-085 OPOLE. Zam. 1970. F-84.

dc. ze str. 271

Czasopismo godne szczególnego polecenia ze względu na bardzo wysoki poziom informacji, omawianie wielu problemów z punktu widzenia techniczno-eksploatacyjnego oraz przedstawiania poglądów kolei SNCF w zestawieniu z tendencjami światowymi.

11. *Japanese Railway Engineering*. (język angielski).

Czasopismo przedstawia technikę na kolejach Japonii we wszystkich jej dziedzinach, stwarzając możliwość zapoznania się z mało u nas znanymi problemami tych kolei.

Podobnie jak w przypadku czasopism krajowych, dokonaliśmy również w odniesieniu do czasopism zagranicznych wyboru tylko ciekawszych naszych zdaniem pozycji.

Przegląd Informacji

Dokonując trudnego wyboru kilku ciekawych informacji spośród dużej ich ilości pragniemy zwrócić uwagę Czytelników na następujące pozycje:

1. „Przegląd Elektrotechniczny” Nr 5 — 1977 r.

1.1. H. Chmielewski — „Program wprowadzania jednostek miar układu SI w gospodarce narodowej”.

Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów PRL z dnia 17.10.1975 r. i wykonawczymi zarządzeniami i wytycznymi Prezesa PKNiM do dnia 31.12.1979 r. układ jednostek SI ma być wdrożony we wszystkich dziedzinach gospodarki narodowej. Jest to zadanie trudne technicznie i złożone organizacyjnie. W artykule w zwięzły sposób omówiono program wprowadzenia nowego układu, zadania komórek powołanych do tych prac oraz podano kompletny przegląd wszystkich aktów prawnych i literatury w tym zakresie.

1.2. Dział Terminologia — „O podstawowych terminach z ochrony odgromowej”.

Omówiono podstawowe pojęcia co pozwala zrozumieć istotę i potrzebę prawidłowego stosowania ochrony odgromowej zarówno w przypadkach ogólnych jak i w specjalistycznych instalacjach zrkil.

2. *Awtomatika, * telemechanika i swjaż* Nr 5, — 1977 r.

2.1. Arkatow, W. S., Docenko N. E., Wawanob J. W. — „Technologičeskaja radjoswjaż na ŗeleżnych dorogach”. (język rosyjski).

(Technologiczna łączność radiowa na kolejach).

Na kolejach Związku Radzieckiego znajduje się w eksploatacji wiele dziesiątków tysięcy radiostacji stacjonarnych, lokomotywowch i przenośnych usprawniających pracę. W oparciu o tak duże doświadczenie autorzy przedstawiają program organizacyjno-techniczny dalszego rozwoju łączności radiowej.

2.2. Kotlarenko N. F., Kapusta A. S., Sanin A. M., Szewczenko S. A. — „Relsowije cepi z upravljajemym wentilem — tiristorom”. (język rosyjski).

(Obwody torowe ze sterowanym zaworem — tyrystorem). Obwody torowe na górkach rozrządowych wykorzystywane w systemie automatycznego sterowania pracą urządzeń rozrządowych są stale ulepszane w kierunku podwyższenia czułości bocznikowania i szybkości przekazywania informacji. Oba te parametry można poprawić podwyższając współczynnik powrotu odbiornika torowego, zwiększając oporności wejściowe na obu końcach obwodu torowego oraz obniżając obciążenie odbiornika. W chwili obecnej dostępność elementów i schematów o działaniu progowym (skokowym) stworzyła nowy kierunek w rozwoju obwodów torowych. Opi-

sano schematy i wyniki badań oraz elementy składowe obwodów torowych, które przeszły długotrwałe próby eksploatacyjne.

3. *Revue Generale des Chemins de Fer*.

3.1. Wydanie luty — 1977 r.

Hachem Mehrzine „Interstation optimale sur une ligne de chemin de fer”. (język francuski).

(Optymalny odstęp międzystacyjny na linii kolejowej). Przedstawiono wyniki studiów teoretycznych nad optymalizacją liczby stacji na linii kolejowej lub metra przy założeniu minimalizacji czasu przemieszczania użytkowników linii. Opracowana metoda pozwala testować przygotowane do realizacji projekty pod kątem prawidłowości rozwiązań, poziomu kosztów budowy i eksploatacji.

Uwaga! Artykuł został przetłumaczony na język polski w COBiRTK — Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej Kolejnictwa. Numer tłumaczenia 1408 — maj 1977 r.

3.2. Wydanie — listopad 1976 r.

Olivier Weber „La signalisation de la ligne a tres grande vitesse”. (język francuski).

(Sygnalizacja na linii o bardzo dużej prędkości).

Duże doświadczenie SNCF w zakresie wielkich prędkości jazdy pociągów znalazło wyraz w treści artykułu. Przedstawiono badania, wyniki doświadczeń, dobór aparatury sygnalizacyjnej i zabezpieczeniowej oraz wnioski dotyczące stosowania bardzo dużych prędkości jazdy pociągów.

Uwaga! Artykuł przetłumaczony na język polski w COBiRTK — Branżowy Ośrodek Informacji Naukowej, Technicznej i Ekonomicznej Kolejnictwa. Numer tłumaczenia 1378 — marzec 1977 r.